İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞEY YÜZLÜ KIYI YAPILARI ÜZERİNDE KULLANILABİLECEK DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞTÜRÜCÜSÜ TASARIMI

DOKTORA TEZİ

Özgür Evren VAROL

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞEY YÜZLÜ KIYI YAPILARI ÜZERİNDE KULLANILABİLECEK DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞTÜRÜCÜSÜ TASARIMI

DOKTORA TEZİ

Özgür Evren VAROL
(517042004)

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 517042004 numaralı Doktora Öğrencisi **Özgür Evren VAROL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"Düşey Yüzlü Kıyı Yapıları Üzerinde Kullanılabilecek Dalga Enerjisi Dönüştürücüsü Tasarımı"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mete ŞEN .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan AKYILDIZ .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Melek KAZEZYILMAZ ALHAN .....
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 2 Şubat 2011
Savunma Tarihi : 11 Haziran 2013

ÖNSÖZ

Kıyı Mühendisliğinde, kıyıların belli kesimlerini dalga etkilerine karşı korumaya yönelik yapıların tasarımı ve inşaatı temel çözüm yöntemleridir. Bu yapılar dalga etkilerini, başka bir ifade ile bu etkilerin temel kaynağı olan dalga enerjisini, türbülans vb. hidrodinamik yollarla ısı ve ses enerjisine dönüştürerek veya geri yansıtarak uzaklaştırmaya çalışırlar. Bu doktora tez çalışmasında, kıyıyı korumak amacıyla planlanan veya mevcut olan düşey yüzlü bir kıyı yapısı üzerinde çalışabilecek ve dalgalı deniz koşullarında enerji üreterek tesisin veya bölgenin enerji ihtiyacına katkıda bulunabilecek bir dalga enerjisi dönüşüm sistemin tasarlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesinde benden bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI'ya,

Değerli katkı ve destekleri için Yard. Doç. Dr. Veysel Şadan Özgür KIRCA ve Yard. Doç. Dr. Ali ERTÜRK'e,

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği programındaki tüm öğrenci arkadaş ve meslektaşlarım ile ortağım Atakan Yüce'ye,

Anlayışı ve desteği ile, en başından itibaren bu doktora çalışmasını yapabilmemde büyük katkısı bulunan sevgili eşim Handan YAĞMUR VAROL'a

Ayrıca tüm hayatım boyunca bana destek olan ve yol gösteren babam Mehmet Yaşar VAROL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2013 Özgür Evren Varol

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xxiii**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Yöntem 2
2. DALGA ENERJİSİ **3**
2.1 Genel 3
2.2 Dalgaların Genel Özellikleri 5
2.3 Dalga Enerjisinin Hesabı 7
2.4 Mevcut Dalga Enerjisi Dönüştürücüleri 9
2.5 Tam Ölçekte Operasyonel Durumda Olan Enerji Dönüştürücüleri 15
2.6 Dalga Enerjisinin Ekonomik Analizi 20
2.7 Dalga Enerjisinin Güvenirliliği 22
3. TÜRKİYE'DEKİ DALGA ENERJİSİ POTANSİYELİ **27**
3.1 Dalga Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması 27
4. TASARLANAN DÖNÜŞTÜRÜCÜ SİSTEMİN ÖZELLİKLERİ **33**
4.1 Tasarlanması Planlanan Sistemin Temel Prensiplerinin Belirlenmesi 33
4.2 Düşey Yüzlü Kıyı Yapıları 35
4.3 Dalga Aşma Prensibi Üzerine Yapılan Çalışmalar 41
5. FİZİKSEL MODELLEME **45**
5.1 Deneysel Çalışma Yönteminin Belirlenmesi 45
5.2 Kurulan Modelin Özellikleri 46
5.3 Deneysel Çalışmaların Yürütülmesi 48
5.4 Deneyler Sırasında Ölçülen Parametreler ve Ölçüm Sistemleri 49
5.5 Deney Planı ve Yönergesi 55
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ **57**
6.1 Değerlendirmede İzlenen Yöntem 57
6.2 Düzenli Dalgalar Kullanılan Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 66
6.3 Düzensiz Dalgalar Kullanılan Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 69
7. SİSTEMİN KUMKÖY (KİLYOS) KIYISINDA UYGULANMASININ İRDELENMESİ **73**
7.1 Coğrafi Konum 73
7.2 Genel Yerleşim ve Batimetri 75
7.3 Dalga İklimi ve Enerji Potansiyeli 76

7.4 Maliyet Karşılaştırması 79
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 81
KAYNAKLAR 85
EKLER 89
ÖZGEÇMİŞ 211

KISALTMALAR

OWC :Oscillating Water Column- Salınımlı Su Sütunu
AWS :Archimedes Wave Swing-Arşimed Dalga Salıncağı
VBA :Visual Basic for Applications
SSS :Sakin Su Seviyesi
HE :Hidro Elektrik
A/D :Analog Sinyal-Dijital Sinyal Dönüştürücü
HD :High Definition –Yüksek Çözünürlüklü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Açık deniz dalgalarını karakterize eden dalga yükseklikleri. 6
Çizelge 2.2 : Avrupa kıyılarındaki dalga enerjisi potansiyeli (Url-1). 25
Çizelge 3.1 : Kumköy dalga özelliklerine göre gruplandırılmış fırtınaların 15 yıllık toplam esme süreleri (saat). 29
Çizelge 3.2 : Kumköy dalga özelliklerine göre gruplandırılmış fırtınaların 15 yıllık toplam enerjileri (kWh/m). 29
Çizelge 5.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan model konfigürasyonları. 46
Çizelge 5.2 : Deneyler için seçilen düzenli dalgaların özellikleri. 48
Çizelge 5.3 : Deneyler için seçilen düzensiz dalgaların özellikleri 49
Çizelge 6.1 : Değerlendirilen deneylerde elde edilen örnek sonuçlar. 61
Çizelge 6.2 : Yapının önyüz ve kret kotlarına göre elde edilen dönüşüm oranları. 71
Çizelge 7.1 : Kumköy dalga özelliklerine göre gruplandırılmış fırtınaların 15 yıllık toplam enerjileri (kWh/m). 76
Çizelge A.1 : Belirlenen ve uygulanan deney programı. 91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Deniz yüzey dalgalarının enerjilerinin yaklaşık dağılımı ve dalgaların sınıflandırılması (S.P.M. 1984) 4
Şekil 2.2 : Dalgada depolanan kinetik ve potansiyel enerji (Ocean Energy Conversion in Europe). 4
Şekil 2.3 : Genel dalga karakteristikleri.. 5
Şekil 2.4 : Su yüzeyi profili örneği. 6
Şekil 2.5 : Dalga spektrumu. 7
Şekil 2.6 : Salınımlı su sütunu prensibi ile çalışan tipik bir sistemin kesiti (Url-1). 10
Şekil 2.7 : Daralan kanal (TAPCHAN) enerji dönüştürücü sisteminin11 şematik gösterimi (Url-1). 11
Şekil 2.8 : SEADOG enerji dönüştürücü sisteminin şematik gösterimi (Hagerman ve Bedard, 2004). 11
Şekil 2.9 : Pendulor enerji dönüştürücü sisteminin şematik gösterimi (Url-1). 12
Şekil 2.10 : ENERGETECH firmasının salınımlı su sütunu tipi enerji dönüştürücü sisteminin şematik gösterimi (Hagerman ve Bedard, 2004). 12
Şekil 2.11 : Pelamis enerji dönüştürücü sisteminin şematik gösterimi (Hagerman ve Bedard, 2004). 13
Şekil 2.12 : Wave Dragon sisteminin plan gösterimi (Cruz, 2008). 14
Şekil 2.13 : Wave Dragon sisteminin kesit gösterimi (Cruz, 2008). 14
Şekil 2.14 : Lineer jeneratör tipi enerji dönüştürücü (Ivanova vd., 2005). 15
Şekil 2.15 : Islay adasında 2000 yılından beri çalışmakta olan LIMPET tesisi (Cruz, 2008). 16
Şekil 2.16 : LIMPET tesisinin kesit görünüşü (Cruz, 2008). 16
Şekil 2.17 : Jeneratör-türbin yapısı (Cruz, 2008). 17
Şekil 2.18 : Pelamis tam ölçekli prototipi (Cruz, 2008). 17
Şekil 2.19 : Tam ölçekli Pelamis prototipinin donanım değişikliği için alındığı kuru havuzdaki görüntüsü (Cruz, 2008) 18
Şekil 2.20 : 1/4,5 Ölçekli Wave Dragon pilot tesisinin görünümü (Cruz, 2008). 18
Şekil 2.21 : 1/4,5 Ölçekli Wave Dragon pilot tesisinin sert deniz koşullarında görünümü (Cruz, 2008). 19
Şekil 2.22 : AWS sisteminin batırılma aşamalarından görüntüler (Cruz, 2008). 20
Şekil 2.23 : Bir dalga enerjisi dönüştürücüsünün oluşum maliyeti (Url-2). 20
Şekil 2.24 : Dalga enerjisi dönüştürücüsünün sisteme montajı ile birlikte sistem oluşum maliyeti (Url-2) 21

Şekil 2.25 : Yenilenebilir enerji kaynaklarında elektrik maliyeti ve işletme ve bakım giderleri (Ceylan, 2009). 22
Şekil 2.26 : MW başına yatırım maliyeti (Ceylan, 2009). 22
Şekil 2.27 : Dalga enerjisinin güvenirliliğinin bağlı olduğu parametreler (Thies vd, 2008). 23
Şekil 2.28 : Küresel dalga enerjisi potansiyeli (Url-3). 24
Şekil 2.29 : Amerika kıyılarının dalga enerjisi potansiyeli (Bedard vd., 2005). 25
Şekil 2.30 : Avustralya'da yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel dağılımı 26
Şekil 2.31 : Dünya genelinde enerji tüketiminde enerji kaynaklarının kullanım oranları (Ceylan, 2009). 26
Şekil 3.1 : Dalga tahmini ve enerji hesaplarını gerçekleştiren 28
Şekil 3.2 : Dalga tahminlerinin yapıldığı bölgelerin yıllık ortalama enerjileri (kWh/m.yıl). 31
Şekil 4.1 : Deneylerde kullanılan modelin temsili görünümü. 33
Şekil 4.2 : Deneylerde kullanılan modelin enkesiti 34
Şekil 4.3 : Sainflou'ya (1928) göre düşey yüzlü kıyı koruma yapısı üzerinde kırılmayan dalga için basınç dağılımı. 37
Şekil 4.4 : Goda'ya (1974) göre düşey yüzlü kıyı koruma yapısı 38
Şekil 4.5 : Farklı kret kotları için dalga yüksekliği ile aşma debisinin ilişkisi. 42
Şekil 4.6 : Farklı kret kotları (h_c) için ön yüz eğiminin dalga aşma debisi ile ilişkisi 43
Şekil 4.7 : Farklı önyüz kotları (h_f) için ön yüz eğiminin dalga aşma debisi ile ilişkisi 44
Şekil 5.1 : Modelin arka yüzünün ve hazne çıkış borusunun perspektif görünümü 48
Şekil 5.2 : Deney kanalı, model ve ölçüm-kayıt sistemlerinin toplu görünümü 49
Şekil 5.3 : Deneylerde kullanılan bir direnç tipi dalga ölçerin kanala monte halde görünümü 50
Şekil 5.4 : Seviye ölçerlerin DC Voltaj-Su seviyesi ilişkisini gösteren örnek 51
Şekil 5.5 : Model önünde ve içinde bulunan 3 adet seviyeölçer ve modele monteli basınç ölçerin kanal içerisinden görünümü. 52
Şekil 5.6 : Sabit yük altında, modelin çıkışında düşey eksendeki akış hızı dağılımı. 53
Şekil 5.7 : Deneyler sırasındaki kayıtlardan alınmış örnek ekran görüntüsü. 54
Şekil 5.8 : Dalga, hız ve basınç verilerini ölçmekte ve kaydetmede kullanılan sistemlerin görünümü. 54
Şekil 6.1 : 182 numaralı deneyin hazne çıkışındaki akım hızının zamana bağlı değişimi. 57
Şekil 6.2 : 182 numaralı deney için *temiz süre* dâhilindeki akım hızı zaman serisi 58
Şekil 6.3 : 182 numaralı deney için hazne içersindeki su seviyesinin zaman bağlı değişimi 59
Şekil 6.4 : Dalga analiz programı kontrol dosyası örnek görünümü 64
Şekil 6.5 : 128-129 numaralı tekrarlı deneylerde su seviyelerinin karşılaştırılması 65

Şekil 6.6 : 137-139 numaralı tekrarlı deneylerde su seviyelerinin karşılaştırılması 65
Şekil 6.7 : Kret kotu 10cm ön yüz kotu 0cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi. 66
Şekil 6.8 : Kret kotu 10cm ön yüz kotu -5cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi. 66
Şekil 6.9 : Kret kotu 10cm ön yüz kotu -10cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi. 67
Şekil 6.10 : Kret kotu 15cm ön yüz kotu 0cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi. 68
Şekil 6.11 : Kret kotu 15cm ön yüz kotu -5cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi. 68
Şekil 6.12 : Yapının bağıl kret kotu ile P_n arasındaki ilişki. 69
Şekil 6.13 : Yapının bağıl önyüz kotu ile P_n arasındaki ilişki. 70
Şekil 6.14 : Yapının önyüz açısı ile P_n arasındaki ilişki 70
Şekil 7.1 : Liman bölgesinin genel coğrafi konumu (Google Earth). 74
Şekil 7.2 : Liman bölgesinin coğrafi konumu (Google Earth). 74
Şekil 7.3 : Liman sahasının 2008 yılına ait uydu görüntüsü (Google Earth). 75
Şekil 7.4 : Limanın genel yerleşimi, proje bölgesine ait batimetri ve mevcut kıyı çizgisi. 76
Şekil 7.5 : H/L=0,05 dalga dikliğine sahip dalgalarda yapının dönüşüm verimi ile ön yüz konfigürasyonu ilişkisi. 77
Şekil 7.6 : Tasarımı yapılan dalgakıranın tipik enkesiti. 78
Şekil B.1 : 165 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi 97
Şekil B.2 : 166 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi 97
Şekil B.3 : 167 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi 98
Şekil B.4 : 168 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 98
Şekil B.5 : 175 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 99
Şekil B.6 : 176 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 99
Şekil B.7 : 177 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 100
Şekil B.8 : 178 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 100
Şekil B.9 : 185 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 101
Şekil B.10 : 186 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 101
Şekil B.11 : 187 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 102
Şekil B.12 : 188 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 102
Şekil B.13 : 195 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 103
Şekil B.14 : 196 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 103
Şekil B.15 : 197 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 104
Şekil B.16 : 198 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 104
Şekil B.17 : 205 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 105
Şekil B.18 : 206 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 105
Şekil B.19 : 207 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 106
Şekil B.20 : 208 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 106
Şekil B.21 : 215 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 107

Şekil B.22 : 216 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 107
Şekil B.23 : 217 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 108
Şekil B.24 : 218 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 108
Şekil B.25 : 225 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 109
Şekil B.26 : 226 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 109
Şekil B.27 : 227 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 110
Şekil B.28 : 228 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 110
Şekil B.29 : 235 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 111
Şekil B.30 : 236 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 111
Şekil B.31 : 237 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 112
Şekil B.32 : 238 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 112
Şekil B.33 : 245 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 113
Şekil B.34 : 246 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 113
Şekil B.35 : 247 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 114
Şekil B.36 : 248 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 114
Şekil B.37 : 255 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 115
Şekil B.38 : 256 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 115
Şekil B.39 : 257 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 116
Şekil B.40 : 258 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 116
Şekil B.41 : 265 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 117
Şekil B.42 : 266 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 117
Şekil B.43 : 267 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 118
Şekil B.44 : 268 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 118
Şekil B.45 : 275 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 119
Şekil B.46 : 276 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 119
Şekil B.47 : 277 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 120
Şekil B.48 : 278 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 120
Şekil B.49 : 285 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 121
Şekil B.50 : 286 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 121
Şekil B.51 : 287 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 122
Şekil B.52 : 288 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 122
Şekil B.53 : 295 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 123
Şekil B.54 : 296 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 123
Şekil B.55 : 297 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 124
Şekil B.56 : 298 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 124
Şekil B.57 : 305 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 125
Şekil B.58 : 306 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 125
Şekil B.59 : 307 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 126
Şekil B.60 : 308 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 126
Şekil B.61 : 315 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 127
Şekil B.62 : 316 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 127
Şekil B.63 : 317 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 128
Şekil B.64 : 318 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 128
Şekil B.65 : 325 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 129
Şekil B.66 : 326 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 129
Şekil B.67 : 327 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 130
Şekil B.68 : 328 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 130
Şekil B.69 : 335 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 131
Şekil B.70 : 336 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 131
Şekil B.71 : 337 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 132

Şekil B.72 : 338 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 132
Şekil B.73 : 345 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 133
Şekil B.74 : 346 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 133
Şekil B.75 : 347 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 134
Şekil B.76 : 348 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi. 134
Şekil C.1 : 101 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 135
Şekil C.2 : 102 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 135
Şekil C.3 : 103 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 135
Şekil C.4 : 104 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 136
Şekil C.5 : 105 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 136
Şekil C.6 : 106 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 136
Şekil C.7 : 107 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 137
Şekil C.8 : 108 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 137
Şekil C.9 : 109 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 137
Şekil C.10 : 110 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 138
Şekil C.11 : 111 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 138
Şekil C.12 : 112 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 138
Şekil C.13 : 113 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 139
Şekil C.14 : 114 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 139
Şekil C.15 : 115 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 139
Şekil C.16 : 116 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 140
Şekil C.17 : 117 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 140
Şekil C.18 : 118 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri 140
Şekil C.19 : 120 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri 141
Şekil C.20 : 121 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri 141
Şekil C.21 : 122 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 141
Şekil C.22 : 123 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 142
Şekil C.23 : 124 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 142
Şekil C.24 : 125 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 142
Şekil C.25 : 126 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 143
Şekil C.26 : 127 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 143
Şekil C.27 : 129 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 143
Şekil C.28 : 130 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 144
Şekil C.29 : 131 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 144
Şekil C.30 : 132 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 144
Şekil C.31 : 133 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 145
Şekil C.32 : 134 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 145
Şekil C.33 : 135 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 145
Şekil C.34 : 136 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 146
Şekil C.35 : 137 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 146
Şekil C.36 : 138 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 146
Şekil C.37 : 139 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 147
Şekil C.38 : 140 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 147
Şekil C.39 : 141 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 147
Şekil C.40 : 142 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 148
Şekil C.41 : 143 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 148
Şekil C.42 : 144 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 148
Şekil C.43 : 145 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 149
Şekil C.44 : 146 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 149
Şekil C.45 : 147 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 149

Şekil C.46 : 148 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....150
Şekil C.47 : 150 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....150
Şekil C.48 : 151 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....150
Şekil C.49 : 152 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....151
Şekil C.50 : 153 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....151
Şekil C.51 : 154 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....151
Şekil C.52 : 155 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....152
Şekil C.53 : 156 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....152
Şekil C.54 : 157 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....152
Şekil C.55 : 158 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....153
Şekil C.56 : 160 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....153
Şekil C.57 : 161 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....153
Şekil C.58 : 162 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....154
Şekil C.59 : 163 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....154
Şekil C.60 : 164 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....154
Şekil C.61 : 165 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....155
Şekil C.62 : 166 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....155
Şekil C.63 : 167 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....155
Şekil C.64 : 168 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....156
Şekil C.65 : 171 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....156
Şekil C.66 : 172 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....156
Şekil C.67 : 173 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....157
Şekil C.68 : 174 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....157
Şekil C.69 : 175 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....157
Şekil C.70 : 176 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....158
Şekil C.71 : 177 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....158
Şekil C.72 : 178 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....158
Şekil C.73 : 180 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....159
Şekil C.74 : 181 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....159
Şekil C.75 : 182 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....159
Şekil C.76 : 183 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....160
Şekil C.77 : 184 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....160
Şekil C.78 : 185 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....160
Şekil C.79 : 186 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....161
Şekil C.80 : 187 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....161
Şekil C.81 : 188 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....161
Şekil C.82 : 190 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....162
Şekil C.83 : 191 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....162
Şekil C.84 : 192 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....162
Şekil C.85 : 193 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....163
Şekil C.86 : 194 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....163
Şekil C.87 : 195 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....163
Şekil C.88 : 196 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....164
Şekil C.89 : 197 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....164
Şekil C.90 : 198 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....164
Şekil C.91 : 200 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....165
Şekil C.92 : 201 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....165
Şekil C.93 : 202 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....165
Şekil C.94 : 203 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....166
Şekil C.95 : 204 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....166

Şekil C.96 : 205 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 166
Şekil C.97 : 206 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 167
Şekil C.98 : 207 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 167
Şekil C.99 : 208 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 167
Şekil C.100 : 210 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 168
Şekil C.101 : 211 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 168
Şekil C.102 : 212 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 168
Şekil C.103 : 213 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 169
Şekil C.104 : 214 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 169
Şekil C.105 : 215 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 169
Şekil C.106 : 216 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 170
Şekil C.107 : 217 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 170
Şekil C.108 : 218 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 170
Şekil C.109 : 220 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 171
Şekil C.110 : 221 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 171
Şekil C.111 : 222 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 171
Şekil C.112 : 223 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 172
Şekil C.113 : 224 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 172
Şekil C.114 : 225 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 172
Şekil C.115 : 226 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 173
Şekil C.116 : 227 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 173
Şekil C.117 : 228 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 173
Şekil C.118 : 230 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 174
Şekil C.119 : 231 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 174
Şekil C.120 : 232 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 174
Şekil C.121 : 233 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 175
Şekil C.122 : 234 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 175
Şekil C.123 : 235 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 175
Şekil C.124 : 236 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 176
Şekil C.125 : 237 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 176
Şekil C.126 : 238 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 176
Şekil C.127 : 240 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 177
Şekil C.128 : 241 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 177
Şekil C.129 : 242 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 177
Şekil C.130 : 243 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 178
Şekil C.131 : 244 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 178
Şekil C.132 : 245 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 178
Şekil C.133 : 246 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 179
Şekil C.134 : 247 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 179
Şekil C.135 : 248 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 179
Şekil C.136 : 250 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 180
Şekil C.137 : 251 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 180
Şekil C.138 : 252 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 180
Şekil C.139 : 253 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 181
Şekil C.140 : 254 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 181
Şekil C.141 : 255 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 181
Şekil C.142 : 256 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 182
Şekil C.143 : 257 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 182
Şekil C.144 : 258 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 182
Şekil C.145 : 260 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 183

Şekil C.146 : 261 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....183
Şekil C.147 : 262 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....183
Şekil C.148 : 263 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....184
Şekil C.149 : 264 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....184
Şekil C.150 : 265 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....184
Şekil C.151 : 266 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....185
Şekil C.152 : 267 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....185
Şekil C.153 : 268 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....185
Şekil C.154 : 270 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....186
Şekil C.155 : 271 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....186
Şekil C.156 : 272 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....186
Şekil C.157 : 273 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....187
Şekil C.158 : 274 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....187
Şekil C.159 : 275 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....187
Şekil C.160 : 276 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....188
Şekil C.161 : 277 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....188
Şekil C.162 : 278 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....188
Şekil C.163 : 280 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....189
Şekil C.164 : 281 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....189
Şekil C.165 : 282 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....189
Şekil C.166 : 283 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....190
Şekil C.167 : 284 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....190
Şekil C.168 : 285 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....190
Şekil C.169 : 286 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....191
Şekil C.170 : 287 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....191
Şekil C.171 : 288 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....191
Şekil C.172 : 290 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....192
Şekil C.173 : 291 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....192
Şekil C.174 : 292 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....192
Şekil C.175 : 293 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....193
Şekil C.176 : 294 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....193
Şekil C.177 : 295 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....193
Şekil C.178 : 296 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....194
Şekil C.179 : 297 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....194
Şekil C.180 : 298 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....194
Şekil C.181 : 300 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....195
Şekil C.182 : 301 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....195
Şekil C.183 : 302 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....195
Şekil C.184 : 303 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....196
Şekil C.185 : 304 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....196
Şekil C.186 : 305 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....196
Şekil C.187 : 306 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....197
Şekil C.188 : 307 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....197
Şekil C.189 : 308 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....197
Şekil C.190 : 310 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....198
Şekil C.191 : 311 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....198
Şekil C.192 : 312 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....198
Şekil C.193 : 313 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....199
Şekil C.194 : 314 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....199
Şekil C.195 : 315 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.....199

Şekil C.196 : 316 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 200
Şekil C.197 : 317 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 200
Şekil C.198 : 318 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 200
Şekil C.199 : 319 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 201
Şekil C.200 : 320 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 201
Şekil C.201 : 321 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 201
Şekil C.202 : 322 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 202
Şekil C.203 : 323 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 202
Şekil C.204 : 324 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 202
Şekil C.205 : 325 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 203
Şekil C.206 : 326 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 203
Şekil C.207 : 327 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 203
Şekil C.208 : 328 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 204
Şekil C.209 : 330 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 204
Şekil C.210 : 331 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 204
Şekil C.211 : 332 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 205
Şekil C.212 : 333 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 205
Şekil C.213 : 334 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 205
Şekil C.214 : 335 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 206
Şekil C.215 : 336 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 206
Şekil C.216 : 337 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 206
Şekil C.217 : 338 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 207
Şekil C.218 : 340 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 207
Şekil C.219 : 341 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 207
Şekil C.220 : 342 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 208
Şekil C.221 : 343 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 208
Şekil C.222 : 344 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 208
Şekil C.223 : 345 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 209
Şekil C.224 : 346 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 209
Şekil C.225 : 347 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 209
Şekil C.226 : 348 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri. 210

DÜŞEY YÜZLÜ KIYI YAPILARI ÜZERİNDE KULLANILABİLECEK DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞTÜRÜCÜSÜ TASARIMI

ÖZET

Konvansiyonel ve nükleer enerji kaynaklarının ortaya çıkardığı çevresel problemlerin giderek daha belirgin şekilde kendini hissettirmesi ve azalan enerji kaynaklarının yeni kaynaklarla desteklenmesi gereği diğer yenilenebilir ve temiz enerji türleri ile birlikte dalga enerjisinden yararlanma talebini de güçlendirmiştir.

Kıyı Mühendisliğinde, kıyıların belli kesimlerini dalga etkilerine karşı korumaya yönelik yapıların tasarımı ve inşaatı temel çözüm yöntemleridir. Bu yapılar dalga etkilerini, başka bir ifade ile bu etkilerin temel kaynağı olan dalga enerjisini, türbülans vb. hidrodinamik yollarla ısı ve ses enerjisine dönüştürerek veya geri yansıtarak uzaklaştırmaya çalışırlar. Bu noktadan hareket edilerek; bu çalışmanın öncelikli amacı, kıyıyı korumak amacıyla planlanan veya mevcut olan düşey yüzlü bir kıyı yapısı üzerinde çalışabilecek ve dalgalı deniz koşullarında enerji üreterek tesisin veya bölgenin enerji ihtiyacına katkıda bulunabilecek bir dalga enerjisi dönüşüm sistemin tasarlanmasıdır.

Bu kapsamda öncelikle dalga enerjisi kavramı üzerinde detaylı bir araştırma yapılmış ve bugüne kadar geliştirilmiş olan ve halihazırda kullanımda olan dalga enerjisi dönüştürücüleri incelenmiştir.

Dalga enerjisi, mevcut dalga enerjisi dönüştürücüleri ve düşey yüzlü kıyı yapıları üzerinde yapılan literatür incelemelerden sonra bu tez kapsamında çalışılmak üzere dalga aşma prensibine dayalı bir sistemin seçilmesi uygun görülmüştür. Seçilen bu sistemin temel tasarım parametreleri ortaya konularak, bu parametrelerin sistemin performansına etkilerini belirleyebilmek adına farklı konfigürasyonların uygulanıp denenebileceği bir fiziksel model sistemi tasarlanıp kurulmuştur.

Hazırlanan bu model üzerinde, düzenli ve düzensiz dalgalar kullanılarak, farklı dalga karakteristikleri ile laboratuvar ortamında fiziksel modelleme denemeleri yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sistemin temel tasarım parametreleri ve bunların sistemin performansı üzerindeki etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

DESIGN OF A WAVE ENERGY CONVERTER TO BE BUILT ON VERTICAL FACED COASTAL STRUCTURES

SUMMARY

The increasing environmental problems caused by conventional and nuclear energy sources and the decrease in the reserves of natural resources such as fossil fuels while the energy demand is continuously increasing, has lead to search for new kinds of renewable and clean energy sources. Parallel to other renewable energy sources, wave energy is considered as a potential energy source.

Coastal Structures, in general, are designed and build to protect a coastal area from the effects of waves, where the main source of these effects is the energy of the waves. The structures, particularly the breakwaters, dissipate the energy of the incoming waves by converting to other sources of energy such as, heat and sound, by hydrodynamic means like turbulence etc. The main starting point of this PhD. Thesis, is designing a vertical faced breakwater, which would not only dissipate the energy of the incoming waves but also convert it to other types of energy which would be harnessed and used, i.e. hydro electrical energy. This kind of structure would provide shelter while producing energy for the port or nearby settlements.

For this purpose, an intensive literature review study has been conducted on wave power and wave energy topics, and numerous prototype or operational wave energy converter devices have been studied.

In addition, by using long term wind data from various coastal meteorological stations, wave hindcasting and wave energy potential calculations were done for different coastal regions of Turkey.

With the information gained from these aforementioned phases of the study, a breakwater with a wave energy converting system based on overtopping principle is chosen to be studied by using laboratory physical modeling techniques. In order to determine the principle design parameters of the structure, and their effects on the performance of the structure, a physical model has been designed and set up which would allow testing of different configurations of the model structure.

Tests on this model structure are conducted by using different configurations and combinations of different wave conditions, both regular and irregular. By evaluating the results obtained from laboratory tests, main design parameters and their effects on the performance of the structure were tried to be determined.

As a case study, a wave energy converter type breakwater design is made for a marina planned to be constructed in Kilyos region (Istanbul/Turkey), by using the resulting design criteria obtained from the modeling studies. Energy output potential of this design is calculated and rough cost analyses comparing to a conventional breakwater are done.

The results obtained from the abovementioned studies are summarized below:

The highest wave energy potential of Turkey's coasts is found to be in Western Black Sea region. This region is also close to the highest energy demanding region of Turkey due to dense industrial settlements, which is an additional advantage. Industrial facilities increase the need for transportation where sea routes provide more feasible transportation for large volumes of goods. Therefore the region already has the potential need for new harbors and more are planned for the future.

When harnessing wave power for electricity is in consideration, the continuity of the energy has great importance. Even in the West Black Sea Coasts, where the highest wave energy potential is found, the continuity of this energy may not satisfy the needs for electric production. In other words, a wave energy converter system, which is designed solely for the purpose of converting wave energy into electricity and connected to grid, may not be feasible in today's technology and market conditions. Therefore, a different approach was accepted in this study, and designing a breakwater, which already needed, with an integrated wave energy converter is aimed. This kind of breakwater system is believed to support the energy needs of an industrial facility in desirable wave conditions. Especially for power plants which do need their own large harbors for their fuel supply, this design approach may prove useful and profitable as they already have the necessary technical and legal infrastructure for selling electric energy to the grid. These facilities may plan and build their breakwaters as wave energy converters and in wave conditions sell more electricity or save on fuel for same amount of energy sold. Similarly, small settlements close to coasts which have or need small basins or harbors for fishing boats, would benefit from this system which would support by providing energy at suitable wave conditions.

Even if the electric power production is not feasible, the system would provide clean water inflow into the harbor basin providing better flushing and circulation in the basin where the water quality is particularly important like marinas. The marinas usually have pumping systems in taking clean water from open sea and pumping in to provide adequate flushing of the water body inside the harbor in order to keep the water quality high. The designed system would provide this clean water inflow reducing the energy costs due to pumping.

The parameters which affect the performance of the wave energy converter system, obtained as a result of the physical scale model tests conducted in this study, are summarized below:

The crest elevation of the structure has an important role in the efficiency of the system. The crest elevation also dictates the maximum head provided for turbines, so in the selection of this parameter, current turbine technology and needs for efficient electricity production should be taken into consideration. The results has shown that even though the hydroelectric potential increases with the increasing head, the overtopping flows dramatically decreases, which in total decreases the power output and efficiency of the system. Therefore, it is concluded that the lowest possible crest elevation which would allow efficient turbine operation would provide maximum power output.

The elevation (submergence) of the front face also has an important effect on the performance of the converter. The kinetic energy of the waves, which are mainly stored in orbital movement of water particles towards the sea bottom, is dissipated by a vertical faced structure, therefore, the deeper the elevation of the front face the less

the wave orbital movement are affected by the structure, which in return results in better run-up and overtopping values providing higher energy output. However, as the front face elevation goes deeper, the overall width of the structure increases dramatically resulting in increase in construction costs and wasted area. The front face elevation should be determined according to the expected wave properties, and at least a depth equal to average wave height should be considered.

Although not as significant as the crest and front face elevations, the front face slope effects the efficiency depending on the steepness of the incoming wave. For the long waves, the efficiency increases with decreasing front face slope, on the contrary, to increase the efficiency for short waves, the front face slope should be increased. This again reveals the need of an intensive and careful wave climate investigation for selected site, determining the most energetic wave properties to be harvested and modifying the design for this wave group.

The model tests have shown that the design of the reservoir also has effect on the performance and efficiency of the system. The inflow of the overtopping waves into the reservoir causes disturbances and fluctuations in the reservoir. Depending on the period of the incoming waves and the width of the reservoir, resonance may occur and significant loss of stored water volume due to reverse overtopping from the front face to the open sea. This will decrease the efficiency both due to the loss of stored volume and disturbance of the run-up on the front face of the structure, so the width of the reservoir should be designed according to the wave period to reduce resonance or structural counter-measures should be applied into the reservoir to dampen the motions in the reservoir.

The wave energy converter, which the design parameters and their effects on the performance are determined and explained in this PhD thesis study, may be constructed as a breakwater of an industrial port or a small shelter is believed to be able to provide energy to the nearby settlement or industrial facilities of the port. The converter may be installed on a caisson type breakwater without a significant increase on the construction costs. However, if the system is planned for electric power production, the wave climate of the project location should be investigated carefully and the optimization of the structure, and turbine feasibility analysis should be done accordingly. Even if the electric power production is not feasible, the system would provide clean water inflow into the harbor basin providing better flushing and circulation in the basin where the water quality is particularly important for marinas.

1. GİRİŞ

Konvansiyonel ve nükleer enerji kaynaklarının ortaya çıkardığı çevresel problemlerin giderek daha belirgin şekilde kendini hissettirmesi ve azalan enerji kaynaklarının yeni kaynaklarla desteklenmesi gereği diğer yenilenebilir ve temiz enerji türleri ile birlikte dalga enerjisinden yararlanma talebini de güçlendirmiştir.

Dalga enerjisi üzerine yapılan araştırmalar 1970'lere kadar uzanmakla birlikte bu araştırmaların hız kazanması ve verimli sonuçların elde edilmesi 1980'lerin sonu ile 1990'ların başına rastlamaktadır. Özellikle artan enerji maliyetleri karşısında yeni enerji kaynakları arayışının, dalga enerjisi araştırmalarının maliyetlerini karşılanabilir hale getirmesi sonucunda dalga enerjisinden elektrik üretme santrallerinin geliştirilmesine yönelik araştırmaların hızla artmasına yol açmış bulunmaktadır.

Değişik ölçeklerdeki modeller kullanılarak yapılan çalışmalarda dalgaların sahip oldukları enerji farklı bir forma (elektrik enerjisine) dönüştürülmeye çalışılmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda yenilenebilir enerji türleri arasında, dalga enerjisinin de önemli bir yer tuttuğu ortaya konulmuştur. Özellikle bu konu, gelişmekte olan pek çok ülkenin de dikkatini çekmiş ve ilgisini dalga enerjisine yönlendirmiştir. Yapılan araştırmalar dalga enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin maliyetinin göreceli olarak oldukça düşük olduğunu göstermiş ve bunun sonucunda dalga enerjisi çalışmaları birçok ülkenin yatırım programı kapsamına alınmıştır.

Bu tez çalışması ile Türkiye kıyılarında yapılması planlanan veya mevcut olan düşey yüzlü kıyı yapıları üzerine entegre edilebilecek bir dalga enerjisi dönüştürücü sisteminin tasarımı hedeflenmektedir. Çalışma deniz ve saha ölçümleri ile desteklenen, laboratuvar fiziksel modelleme tekniklerinin kullanıldığı deneysel araştırma yöntemi ile yürütülmüştür.

1.1 Tezin Amacı

Kıyı Mühendisliğinde, kıyıların belli kesimlerini dalga etkilerine karşı korumaya yönelik yapıların tasarımı ve inşaatı temel çözüm yöntemleridir. Bu yapılar dalga etkilerini, başka bir ifade ile bu etkilerin temel kaynağı olan dalga enerjisini, türbülans vb. hidrodinamik yollarla ısı ve ses enerjisine dönüştürerek veya geri yansıtarak uzaklaştırmaya çalışırlar. Bu noktadan hareket edilerek; bu çalışmanın öncelikli amacı, kıyıyı korumak amacıyla planlanan veya mevcut olan düşey yüzlü bir kıyı yapısı üzerinde çalışabilecek ve dalgalı deniz koşullarında enerji üreterek tesisin veya bölgenin enerji ihtiyacına katkıda bulunabilecek bir dalga enerjisi dönüşüm sistemin tasarlanmasıdır. Çalışmanın ileri aşamalarında bu sistemin değişik yapılandırmaları denenerek farklı dalga koşulları için maksimum verim ile çalışacak şekilde optimizasyonunun sağlanması hedeflenmektedir.

Çalışma kapsamında dalga enerjisini elektrik enerjisi üretiminde veya başka bir amaç için kullanılabilecek mekanik enerjiye dönüştürecek sistem tasarlanması hedeflenmekte olup, mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi çalışma kapsamı dışındadır.

1.2 Yöntem

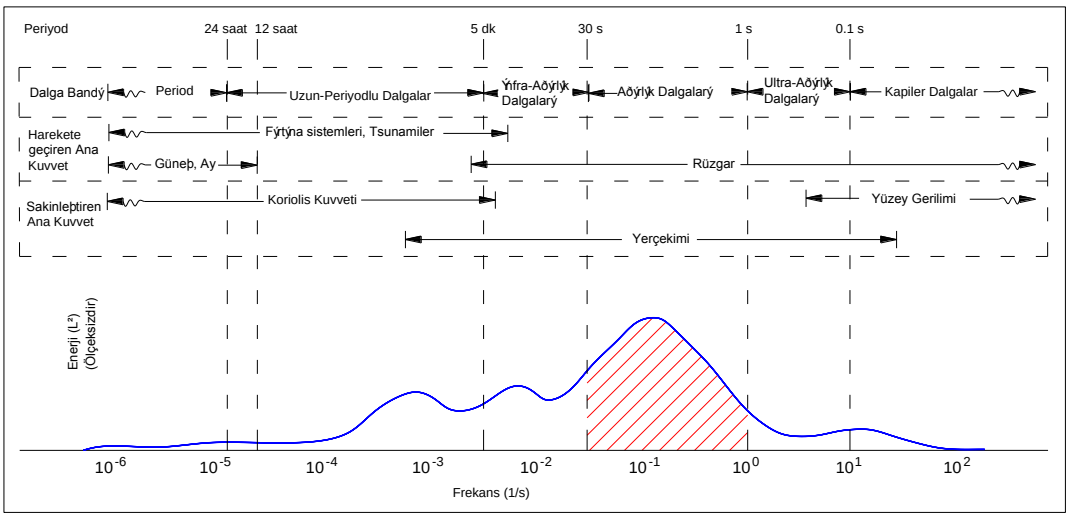
Bu tez çalışmasında kullanılan ana yöntem fiziksel modelleme ve deneysel çalışmadır. Fiziksel model düzenli ve düzensiz dalgalar üretebilen bir dalga kanalında kurulmuş ve deneyler iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Fiziksel modellerle yürütülen çalışmaların en önemli avantajları araştırılan olgunun gözlenebilmesidir. Bu avantajdan faydalanabilmek amacıyla modelin yapımında şeffaf pleksiglas malzeme kullanılmış ve bu sayede yapı içerisindeki su hareketlerinin de izlenebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca yürütülen tüm deneyler uygun açılardan video kaydı alınarak arşivlenmiştir.

2. DALGA ENERJİSİ

2.1 Genel

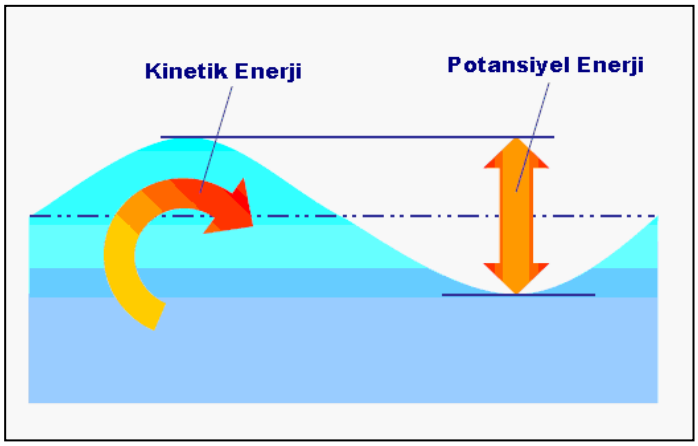
Deniz ve okyanus kaynaklı yenilenebilir enerji türleri arasında dalga, gel-git, buzul, deniz akıntısı ve deniz suyu sıcaklık farkı'ndan enerji eldesi yer almaktadır. Bunlardan dalga ve gel-git enerjisi şu anda dünya'da en çok kabul görmekte ve bulunulan coğrafi koşullara göre yararlanılmaktadır. Diğer kaynakların ise gelecek için enerji kaynağı olarak gösterilip gösterilemeyeceği üzerine yapılan çalışmalara devam edilmektedir. Dalga, aynı zamanda en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olup yaygın olarak kullanılan deniz okyanus enerjisi türüdür. Bu bağlamda, ülkelerin kendi kıyıları üzerinde yaptıkları dalga enerjisi potansiyelinin belirlenmesine dair çalışmalar ile de yaygınlaşmaya devam etmektedir.

Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi, okyanus ve iç denizlerdeki su yüzeyi değişimleri çeşitli etkiler altında deniz yüzeyine aktarılan enerjinin kaynağına, etki süresine ve gücüne bağlı olmaktadırlar. Deniz yüzeyi değişimlerinin salınım periyotları da değişimi yaratan etkene bağlıdırlar. Bu bağlamda bakıldığında, deniz yüzeyine rüzgârlar tarafından aktarılan enerjinin yarattığı ağırlık dalgaları, deniz yüzeyindeki toplam dalga enerjisinin çok büyük bir bölümüne sahiptirler. Başka bir deyişle dalga enerjisinin oluşumunun temelinde, dünya üzerindeki deniz ve karaların farklı ısınması sonucu oluşan rüzgarların deniz yüzeyinde esmesi yatmaktadır. Bu süreçte rüzgâr sahip olduğu kinetik enerjiyi deniz yüzeyine aktarmaktadır. Aktarılan enerji, dalga formunda deniz yüzeyinde depolanmakta ve çok az bir kayıpla kilometrelerce öteye iletilebilmektedir.



Şekil 2.1 : Deniz Yüzey Dalgalarının Enerjilerinin Yaklaşık Dağılımı ve Dalgaların Sınıflandırılması (S.P.M. 1984).

Dalgalarda enerji kinetik ve potansiyel enerji olmak üzere iki şekilde depolanmaktadır. Kinetik enerji, deniz yüzeyindeki parçacıkların dairesel hareketi, potansiyel enerji ise dalganın deniz seviyesinden yükselmesinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.2). Lineer bir dalganın ortalama kinetik enerjisi potansiyel enerjisine yaklaşık olarak eşit olup, bir dalga ile taşınan enerji akısı dalganın yüksekliğine ve periyoduna bağlıdır.



Şekil 2.2 : Dalgada Depolanan Kinetik ve Potansiyel Enerji.

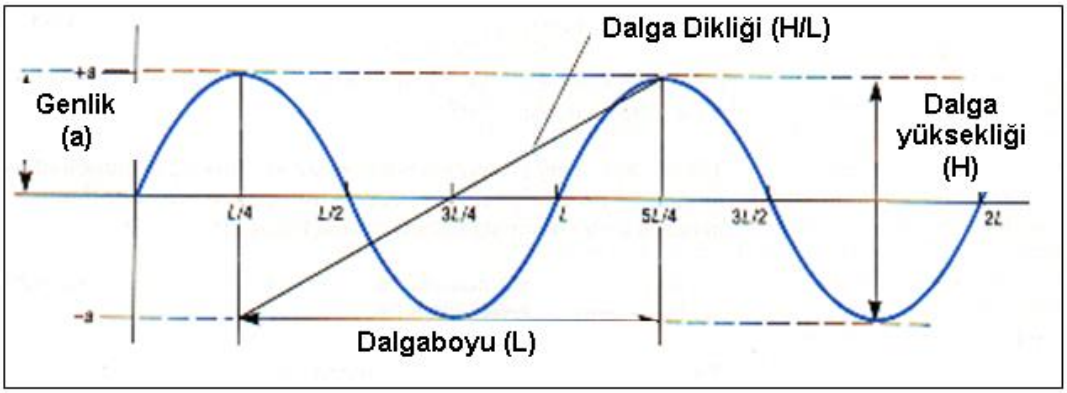
Rüzgâr etkisi ile oluşan ağırlık dalgaları, (1) rüzgârların oluştukları bölgede yarattıkları ve fırtına süresince giderek gelişen ve enerjisi artan ağırlık dalgaları ve (2) rüzgâr etkisi sona erdikten sonra, oluşum bölgesinin dışında, enerjiyi taşımaya devam eden ölü deniz dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ölü deniz dalgalarının periyotları 30 s den daha uzun iken, aktif ağırlık dalgalarının periyotları 1~15 s arasıda gerçekleşmektedir. Bu açıdan bakıldığında, dalga enerjisinde ana

kaynak rüzgâr etkisi altında meydana gelen ağırlık dalgaları olup, bu bölümde dalga tanımı ile ağırlık dalgaları tanımlanmaktadır. Ağırlık dalgalarının doğal enerji dengesi içindeki işlevleri rüzgâr etkisi ile atmosferden aldıkları enerjiyi kıyıya kadar taşıyarak sahilde kara ile etkileşim sonucunda ısı ve ses enerjisine dönüştürerek etkin enerji formundan çıkarmak hidrodinamik tanımlamayla harcanmasını sağlamaktır.

Diğer taraftan, dalgalar tarafından kıyıya taşınan enerji insan yaşamını olumsuz etkileyen fakat doğal yaşama katkı yapan önemli bir etkendir. Dalga enerjisinden yararlanma yönündeki araştırmalar kıyıya ulaşan ve sonunda harcanan bu önemli enerji kaynağının kullanılabilir enerji türlerine dönüştürerek dünya'nın enerji talebinin belirli miktarının temiz enerji sistemleri ile karşılanmasına katkıda bulunmaktadır.

2.2 Dalgaların Genel Özellikleri

Dalga enerjisinin önemli bir kısmı sığ sularda, kıyılarda ve sarp kayalıklarda etkilidir. Dalgalar son derece güçlüdür ve büyük dalgaların kıyılarda metre kareye 10 ton civarında bir kuvvet uyguladığı tahmin edilmektedir. Şekil 2.3'de de görüldüğü gibi, genel olarak dalga ideal bir sinus eğrisi olarak tanımlanmakta, dalga yüksekliği ve dalga boyu temel özellikler olarak ele alınmaktadır.



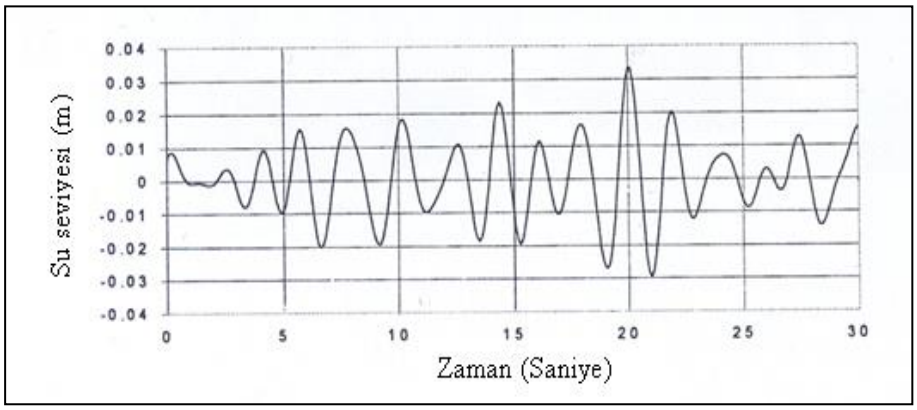
Şekil 2.3 : Genel Dalga Karakteristikleri.

Deniz ortamındaki dalgalar, rüzgârların deniz yüzeyine aktardığı enerjinin yayılımı şeklinde oluşan ağırlık dalgalarıdırlar ve çok sayıda tekil dalganın süperpoze olması ile meydana gelen düzensiz dalgalar olarak tanımlanırlar. Bu açıdan ele alındığında deniz ortamındaki dalgaların karakterize edilmesinde farklı amaçlar için farklı dalga yükseklikleri kullanılmaktadır (Çizelge 2.1)

Çizelge 2.1: Açık Deniz Dalgalarını Karakterize Eden Dalga Yükseklikleri.

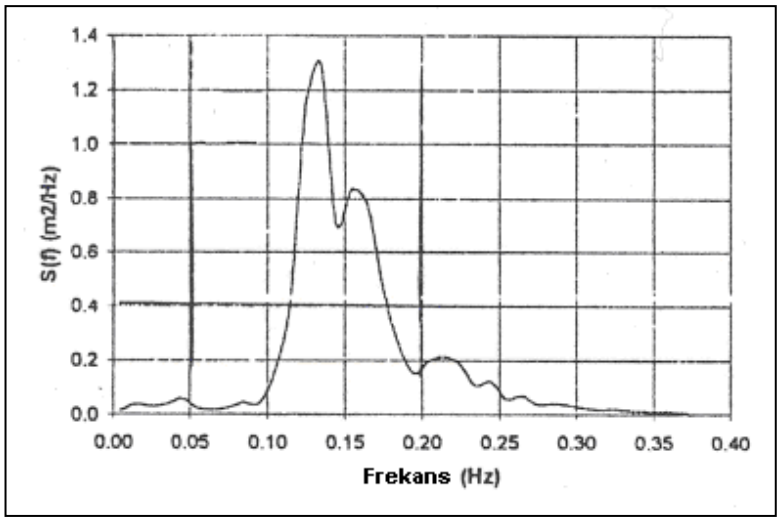
Dalga İsmi	Tanımı	İfadesi
Belirgin dalga yüksekliği	En büyük %30'un ortalaması	Hs (açık denizde Ho)
Ortalama dalga yüksekliği	Tüm serinin ortalaması	H
H1/10	En büyük %10'un ortalaması	H1/10
Maksimum dalga yüksekliği	Serinin maks. değeri	Hmaks.

Deniz ortamında herhangi bir fırtına sırasında oluşan dalgaların yarattığı deniz yüzeyi profili birbirinden farklı yükseklik ve periyottaki dalgalardan meydana gelmektedir ve fırtınada oluşan dalgaların asgari ile azami düzeyi arasında çok büyük farklılıklar oluşmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Su Yüzeyi Profili Örneği.

Her dalganın enerjisinin yüksekliğinin karesi ile orantılı olduğu düşünüldüğünde kıyıdaki herhangi bir noktaya dalgalar tarafından ulaştırılan enerjinin de değişik değerlere sahip olacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle deniz ortamındaki mühendislik yapılarının boyutlandırılmasında bir fırtınanın karakterize edilmesi amacıyla fırtına sırasında oluşan dalgaların toplam enerjisinden hareket edilmekte ve spektral analiz yaklaşımı ile belirgin dalga yüksekliği tanımı yapılmaktadır. Deniz dalgalarının spektrumu Şekil 2.5'de verildiği gibidir. Bu spektrumun altında kalan alan fırtınadaki toplam dalga enerjisini vermektedir.



Şekil 2.5 : Dalga Spektrumu.

Diğer taraftan deniz dalgaları oluşan fırtınanın hızına ve zamana bağlı olarak değişim gösterirler. Dolayısı ile her hangi bir kıyı bölgesindeki potansiyel dalga enerjisinin hesabında dalga ikliminin belirleyici rolü bulunmaktadır.

2.3 Dalga Enerjisinin Hesabı

Dalga enerjisi literatürde çeşitli tanımlar altında ifade edilebilmektedir. En basit hali ile enerji akısı fizikteki kavramlar cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\text{Enerji Akısı} = \Phi = \frac{\text{Güç}}{\text{Alan}} = \frac{\text{Enerji}}{\text{Alan} \times \text{Zaman}} \qquad \textbf{(2.1)}$$

olup enerji ise:

$$E = \text{Kuvvet} \times \text{Yol} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Küçük genlikli dalga teorisine göre, birim alana gelen sinüzoidal dalgalar tarafından iletilen enerji ise:

$$E = \frac{1}{8}\rho \cdot g \cdot H^2 \qquad \textbf{(2.3)}$$

olarak tanımlanmaktadır (burada H dalga yüksekliği, ρ deniz suyunun özgül kütlesi ve g yerçekimi ivmesidir) (Kabdaşlı, 1992).

Sinüzoidal olmayan dalga durumunda ise dalga enerji spektrumundan bulunan belirgin dalga yüksekliği kullanılmaktadır. 2.3 nolu ifadenin C_g dalga yayılma hızı ile çarpılması ile de birim boya karşı gelen güç bulunmuş olur .

$$P = \frac{1}{8}\rho g H^2 \cdot C_g \qquad \textbf{(2.4)}$$

Bilindiği gibi açıkdeniz koşullarında dalga yayılma hızı ve dalga boyu aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir:

$$C_g = \frac{C}{2} \tag{2.5}$$

$$C = \frac{L}{T} \tag{2.6}$$

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \tag{2.7}$$

Buna göre 2.4 ifadesi yeniden düzenlenir ise:

$$J(W/m) = \frac{1}{32\pi}\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T \quad \text{ve} \qquad k = \frac{1}{32\pi}\rho \cdot g^2$$

$$J(W/m) = k \cdot H^2 \cdot T \tag{2.8}$$

ifadesi elde edilir. Burada J birim boya gelen güçtür.

Sinüzoidal dalgalar için k katsayısı 976 W/s.m^3 olarak hesaplanmaktadır. Gerçek deniz koşullarındaki sinüzoidal olmayan dalga halinde, bu katsayı için literatürde farklı değerler verilmekle birlikte, genel olarak 300 ile 500 W/s.m^3 arasında olacağı belirtilmektedir (Ivanova, vd., 2005; Bedard ve Hagerman, 2005). Bu çalışmadaki hesaplamalarda k katsayısı, (Hagerman ve Bedard, 2004), tarafından pek çok durumda doğru olduğu belirtilen 420 W/s.m^3 olarak kabul edilmiştir. Mevcut rüzgâr verilerinden yararlanılarak istasyonun yer aldığı kıyının coğrafi konumuna bağlı olarak enerji üretilebileceği düşünülen yönlerde seçilen bir u_0 rüzgâr hızının üzerindeki fırtınalar için hesaplanan ortalama rüzgâr hızı kullanılarak bu fırtınaların oluşturacağı dalgaların karakteristikleri (H_s, m; T, s) ve birim boya karşı gelen güç (J, W/ m) hesaplanabilmektedir.

Her bir fırtına için elde edilen dalga karakteristikleri ve güç değerleri analiz edilerek o kıyı için H_s, T, J süreklilik eğrileri elde edilebilir. Örneğin fırtınalar için elde edilen J değerleri ($J1 \geq J2 \geq ..... \geq Ji \geq ..... \geq Jm$) büyükten küçüğe sıraya dizilir ve her değere karşı gelen fırtına süreleri kullanılarak J değerlerinin eşit veya daha büyük olduğu zaman yüzdeleri hesaplanabilir. Bu amaçla zaman yüzdeleri (aşılma olasılıkları, A(Ji)) toplam fırtına süresinin (ttm) yüzdesi olarak belirlenir.

A(Ji)=tti/ttm olup, ifade de tti= $\sum_{k=1}^{i} t_k$ ve ttm= $\sum_{k=1}^{m} t_k$ dir. t her bir fırtınanın süresi (saat) ve m toplam fırtına sayısıdır. Böylece elde edilen zaman yüzdeleri (aşılma olasılıkları, (A(Ji)) yatay eksende ve bu yüzdelere karşı gelen J (W/m) değerleri düşey eksende yer alacak şekilde noktalanarak güç süreklilik eğrisi elde edilir. Benzer şekilde Hs ve T için de süreklilik eğrileri elde edilebilir. Bu eğrilerden toplam fırtına süresinin çeşitli yüzdeleri için J, Hs ve T'nin aldığı değer belirlenebilir. Eğrilerin şekilleri de incelenen büyüklüklerin analizinde o kıyı için önemli bilgi vermektedir. Ayrıca fırtınaların yönleri de ortalama olarak belirlenebilmektedir. Bu husus enerji üretecek santral tipine göre önem kazanmaktadır. Bu şekilde fırtınalar çeşitli yönler için sınıflandırılarak yukarıda anlatılan süreklilik eğrileri yönler için de elde edilebilir.

2.4 Mevcut Dalga Enerjisi Dönüştürücüleri

Dalga enerji dönüştürücüleri genç bir teknoloji olup geniş bir çeşitlilik göstermektedir. Herhangi bir dalga enerji dönüştürücüsünün her şeyden önce fırtınalara, tuzlu suda korozyona, yosunlara, deniz araçları kazaları gibi zorluklara dayanıklı olması gerekmektedir. Geçmişteki bu ve benzeri zorluklar bugün için aşılmış görünmektedir. Dünyada pek çok ülke şu an ticari olarak üretim yapmaktadırlar. Bunda gemi yapım endüstrisi, akaryakıt ve doğal gaz ile açık deniz endüstrisinin yüksek maliyetlerinin etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca bu sektörlerde gelecekte zayıflama olacağı görüşü nedeniyle bu endüstriler dalga enerji sektörüne yönelerek yeni iş imkanlarına yatırım yapmaktadırlar.

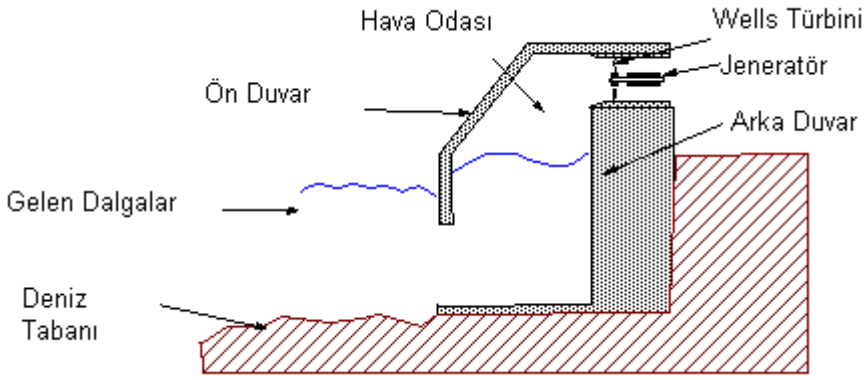
Dalga enerji dönüştürücüleri, yerleştirildikleri alana göre (1) kıyı, (2) yakın kıyı ve (3) açıkdeniz tipi dalga dönüştürücüleri olarak sınıflandırılabilirler (Hagerman ve Bedard, 2004).

2.4.1 Kıyı tipi dalga enerjisi dönüştürücüleri

Bu tip cihazlar kıyı ile yapısal olarak bağlı cihazlar olarak tanımlanabilirler. Kıyıya yakın olmaları nedeni ile kurulumları ve bakımları diğer sistemlere göre daha kolaydır. Karmaşık bağlama sistemlerine ve enerji taşınması için su altı kablo hatlarına ihtiyaç duymazlar. Ancak bu tip sistemlere gelen dalgaların enerjilerinin bir kısmı deniz tabanı ile etkileşimler nedeni ile kaybedilmiş olur. Buna karşılık sistemin

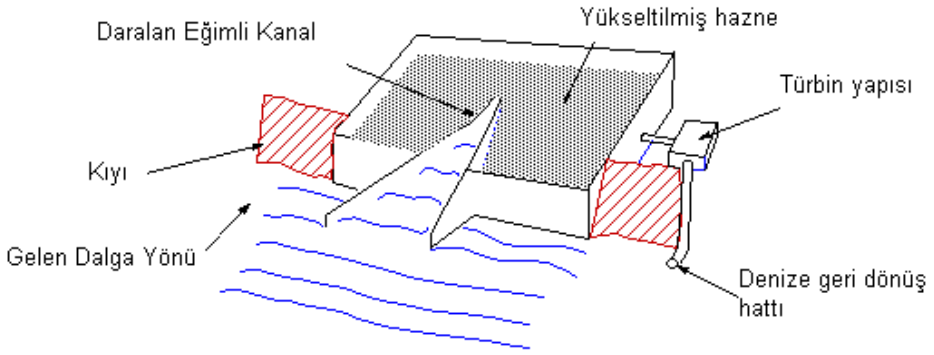
maruz kalacağı en büyük dalgalar da deniz tabanının yapısına bağlı olarak sınırlı olacağı ve tahmin edilebileceği için yapısal tasarım daha kolay olmaktadır.

Kıyı tipi enerji dönüştürücülerinin önemli bir kısmı Salınımlı Su Sütunu (Oscillating Water Column- OWC) prensibi ile çalışan sistemlerdir. Bu sistemler çok basit anlamda dalga etkisi sonucunda su yüzeyinde oluşan salınımdan faydalanırlar. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi dalga etkisi ile yapı içerisindeki su seviyesi salınım yapmaktadır. Bu salınım sürekli olarak yapı içerisindeki havayı dışarıya itmekte ve tekrar yapı içerisine hava çekmektedir. Bu hareketle yapının atmosfere açılan kısmında sürekli ve ters yönlü hava hareketleri oluşmaktadır. Bu hava hareketleri bir türbin-jeneratör kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu tür sistemlerde genellikle wells türbini adı verilen her iki yönden gelen hava akımlarında aynı yöne dönebilen türbinler kullanılmaktadır.



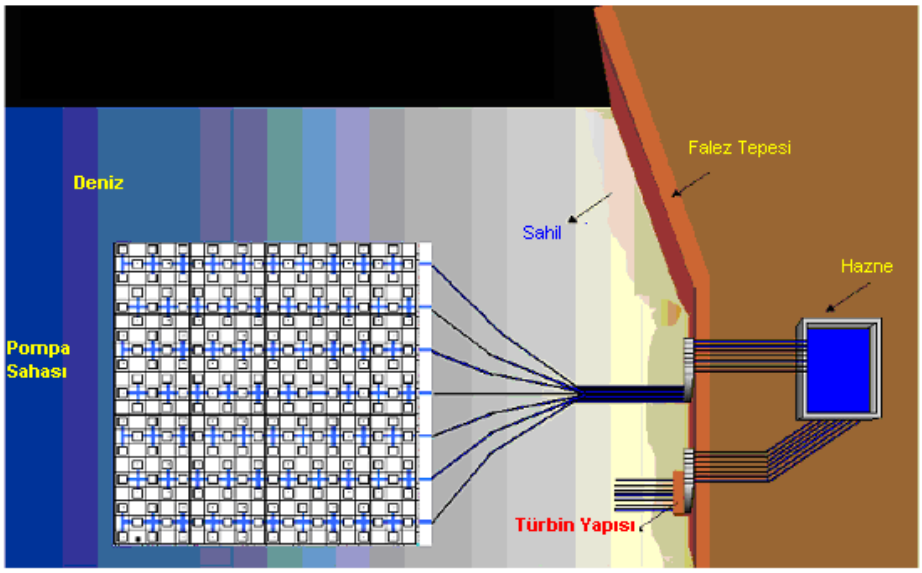
Şekil 2.6 : Salınımlı Su sütunu prensibi ile çalışan tipik bir sistemin kesiti (Url-1).

Diğer bir tür kıyı tipi enerji dönüştürücü sistemi dalga hareketlerini kullanarak kıyı üzerinde denize göre daha yüksek kotlu bir hazneye su taşıyıp bu kot farkının yol açtığı potansiyel enerjiyi mekanik ve elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bu tip sistemlere bir örnek olarak Daralan Kanal (TAPered CHANnel- TAPCHAN) sistemi verilebilir (Şekil 2.7).



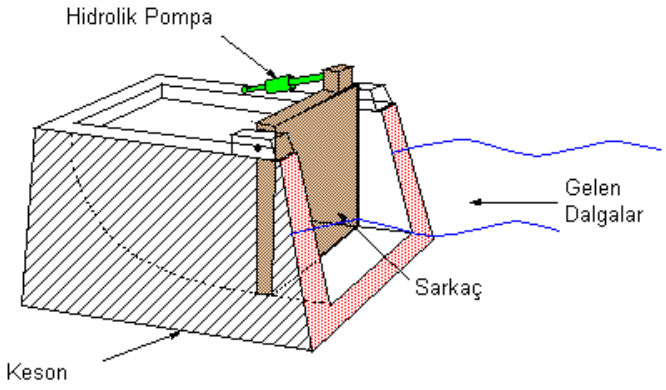
Şekil 2.7 : Daralan Kanal (TAPCHAN) enerji dönüştürücü sisteminin şematik gösterimi (Url-1).

Sistemde, eğimli ve daralan bir kanal ile dalgalar odaklanıp yükseklikleri arttırılarak kıyıdaki deniz seviyesinden yüksekte bulunan hazneye su beslenmesi hedeflenmektedir. Bu haznedeki sular denize geri verilirken bir türbin yapısı üzerinden geçirilmekte ve enerji üretilmektedir. Benzer bir yaklaşımla, bazı enerji dönüştürücü sistemleri de kıyıdaki hazneye denizde kurulan ve dalga etkisiyle salınım yaparak çalışan pompalar ile deniz suyu pompalamakta ve bu hazneden denize geri dönüş hattında da türbinler ile enerji üretimi sağlanmaktadır. SEADOG sistemi bu tiplere örnek olarak gösterilebilir. SEADOG sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8 : SEADOG enerji dönüştürücü sisteminin şematik gösterimi (Hagerman ve Bedard, 2004).

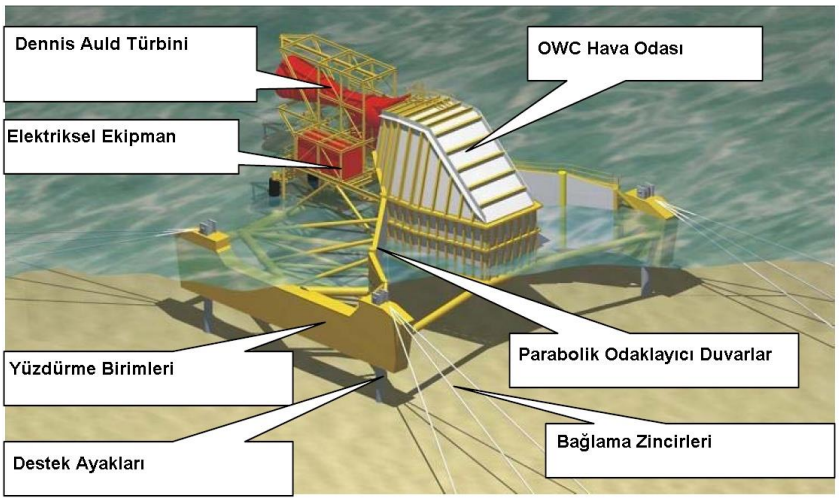
Kıyıda yapılabilecek bir diğer enerji dönüştürücü sistem de, dalgaların hareketi ile salınım yapan perde veya şamandıra sistemleri ile hidrolik güç üretmek ve bu hidrolik gücü elektriğe çevirmek prensibi ile çalışan sistemlerdir. Bu prensibe dayalı olarak çalışan Pendulor adlı sistemin şematik gösterimi Şekil 2.9'da verilmektedir.



Şekil 2.9 : Pendulor enerji dönüştürücü sisteminin şematik gösterimi (Url-1).

2.4.2 Yakın kıyı tipi dalga enerjisi dönüştürücüleri

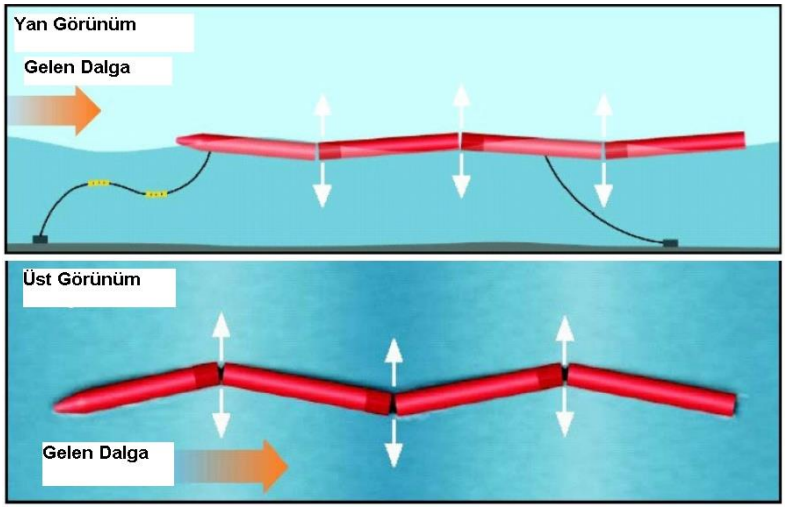
Bu tip cihazlar 20m su derinliğine kadar olan yakın kıyı alanlarında çalışacak tipte cihazlardır. Bu cihazlar deniz tabanına rijit olarak bağlı yapılar şeklinde olabileceği gibi çeşitli bağlama sistemleri ile bağlı olan yüzer yapılar da olabilir. Şekil 2.10 da ENERGETECH firmasının tasarımı olan geliştirilmiş bir Salınımlı Su Sütunu (OWC) tipi dönüştürücü görülmektedir. Bu sistemde büyük parobolik duvarlar ile dalgaların odaklanması ve genliklerinin arttırılması hedeflenmiştir.



Şekil 2.10 : ENERGETECH firmasının salınımlı su sütunu tipi enerji dönüştürücü sisteminin şematik gösterimi (Hagerman ve Bedard, 2004).

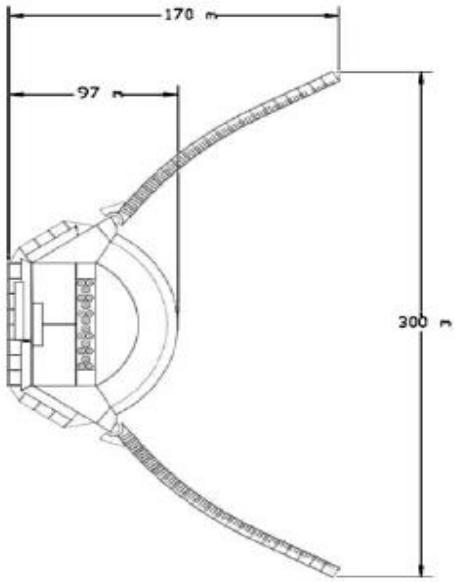
2.4.3 Açık deniz tipi dalga enerjisi dönüştürücüleri

Bu tip sistemler dalgaların deniz tabanı ile etkileşime girip enerjilerini kaybetmediği su derinliklerinde kurulan sistemlerdir. Dalga enerjisinin tamamını kullanabilme avantajları bulunmaktadır. Ancak bu tip sistemlerin karmaşık bağlama sistemlerine ihtiyaç duymaları ve büyük dalga etkilerine maruz kalmaları nedeniyle yapısal tasarımlarında güçlükler bulunmaktadır. Ayrıca ürettikleri enerjinin deniz altı kablo sistemleri ile kıyıya taşınmaları gerekmektedir. Açıkdeniz tipi enerji dönüştürücüleri genellikle su yüzeyinde yüzen ve dalga hareketleri ile aşağı yukarı salımın yapan ve bu salınım hareketini elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Şekil 2.11'de Pelamis adlı sistem görülmektedir. Bu sistem su üzerinde yüzen ve birbirine mafsallarla bağlanmış silindir parçalarından oluşmakta olup dalga etkisi ile oluşan hareketler mafsallarda bulunan hidrolik pistonlar aracılığı ile hidrolik güce çevrilmekte ve enerji üretilmektedir.

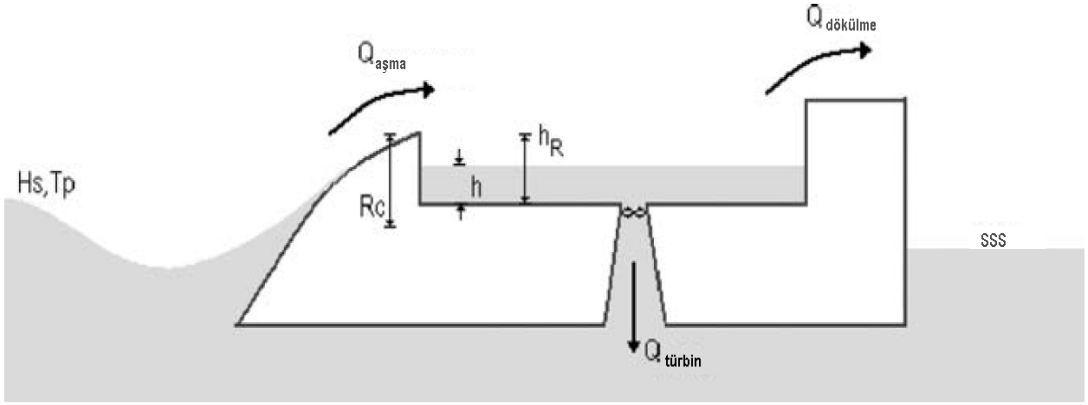


Şekil 2.11 : Pelamis enerji dönüştürücü sisteminin şematik gösterimi (Hagerman ve Bedard, 2004).

Açıkdeniz tipi dalga enerji dönüştürücülerine bir diğer örnek de Wave Dragon'dur. Wave Dragon, Danimarkalı bir firmanı önderliğinde geliştirilmiş, dalga aşma prensibine dayalı olarak çalışan, yüzer tipli bir enerji dönüştürücüsüdür. Sistem eğimli bir ön yüze sahiptir, gelen dalgalar bu ön yüz üzerinden tırmanarak yapı içerisindeki hazneye dökülür. Hazne tabanında bulunan bir türbin ile elektrik enerjisi üretilir. Sistem iki adet parabolik duvar ile dalgaları odaklamakta ve yüksekliklerini arttırarak daha fazla güç üretebilmektedir (Şekil 2.12 ve 2.13).

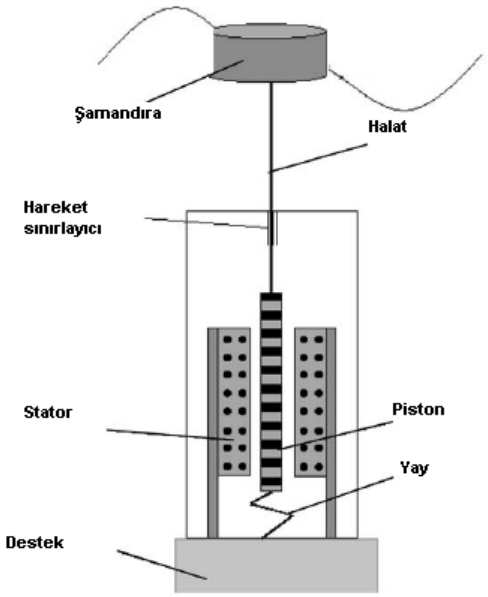


Şekil 2.12 : Wave Dragon sisteminin plan gösterimi (Cruz, 2008).



Şekil 2.13 : Wave Dragon sisteminin kesit gösterimi (Cruz, 2008).

Açıkdenizde kullanılan şamandıra tipli enerji dönüştürücü sistemleri de bulunmaktadır. Bunlara bir örnek olarak dalga hareketi ile su yüzeyinde salınım yapan şamandıraların hareketini doğrusal tipte jeneratörler ile elektrik enerjisine dönüştüren sistemler gösterilebilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : Lineer jeneratör tipi enerji dönüştürücü (Ivanova vd., 2005).

Dalga enerjisi dönüştürücülerinin sınıflandırılmasında alternatif olarak, birinci nesil, ikinci nesil ve üçüncü nesil dönüştürücüler tanımlamaları da kullanılabilir (Randlov, 1996). Buradaki sınıflandırma, sistemin mevcut durumu esas alınarak yapılmaktadır. Örneğin birinci nesil sistemler, genellikle kıyıda veya yakın kıyıda yapılan Salınımlı Su Sütunu (OWC) tipi dönüştürücülerdir. Bu sistemler halihazırda İngiltere, Portekiz, Japonya ve Hindistan'da kurulu olan veya geliştirilen sistemlerdir. İkinci nesil sistemler ise yüzer pompa prensipli, yakın kıyı veya açık denizde uygulanabilecek olan sistemlerdir. Bu tipteki nispeten küçük boyutlu ve güçlü sistemlerin uygulamadaki başarıları da üçüncü nesil olarak adlandırılan, hem fiziksel boyut hem de güç açısından daha büyük açık deniz tipi sistemlerin yolunu açmıştır (Cruz, 2008).

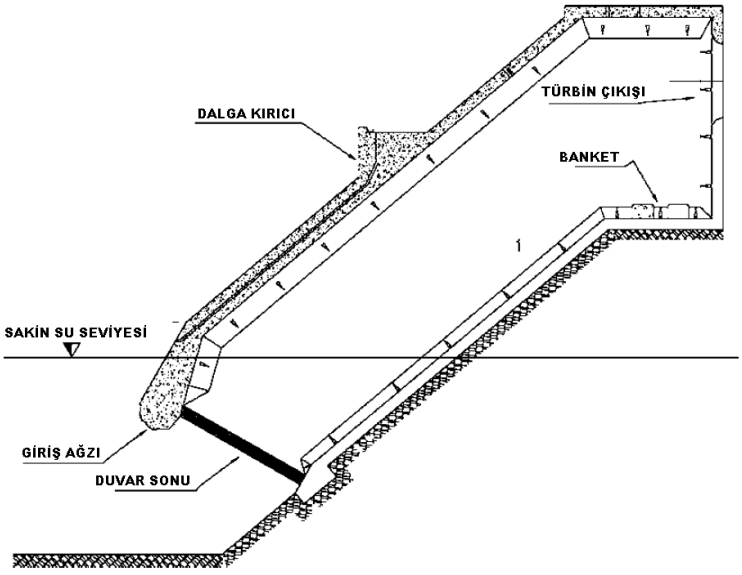
2.5 Tam Ölçekte Operasyonel Durumda Olan Enerji Dönüştürücüleri

Salınımlı su sütunu prensibi ile çalışan enerji dönüştürücülerden, üzerinde en yoğun çalışılan sistem İskoçya'nın Islay adasında bulunan LIMPET tesisidir (Şekil 2.15). Wavegen firmasına ait olan bu tesis şebekeye bağlı olup 2000 yılından bu yana hem enerji üretimi hem de araştırma amaçlı olarak hizmet vermektedir. Sistem 250 kW kurulu güce sahiptir.



Şekil 2.15 : Islay adasında 2000 yılından beri çalışmakta olan LIMPET tesisi (Cruz, 2008).

LIMPET sisteminde hava odası ön ve arka duvarları yatayla 40 derece açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 2.16). Bu eğim, dalgaların oda içerisine girişini kolaylaştırmasının yanı sıra sistemin uzun periyodlu dalgalara göre ayarlanmasını da sağlamaktadır (Cruz, 2008).



Şekil 2.16 : LIMPET tesisinin kesit görünüşü (Cruz, 2008).



Şekil 2.17 : Jeneratör-türbin yapısı (Cruz, 2008).

Portekiz'de, İspanya'da ve dünyanın çeşitli yerlerinde OWC tipi enerji dönüştürücülü dalgakıranlar inşa edilmektedir. Temel teknoloji iyice oturtulduktan sonra değişken hatveli wells türbinleri gibi gelişmiş türbin sistemleri kullanılarak OWC tipi enerji dönüştürücülerinin performansları önemli ölçüde arttırılabilecektir (Şekil 2.17). OWC teknolojisinin, dalgadan enerji üretiminde kullanılan en eski teknoloji olduğu gibi gelecekte de dalga enerjisi dönüştürücüleri arasında önemli bir yere sahip olacağı görülmektedir (Cruz, 2008).

Pelamis sisteminin tam ölçekli prototipi 2004 yılının Ağustos ayında İngiltere'de Orkney açıklarına yerleştirilip şebekeye bağlanmıştır. Böylece Pelamis açık denize yerleştirilen ve elektrik üretip şebekeye bağlanan ilk dalga enerjisi dönüştürücü olmuştur (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : Pelamis tam ölçekli prototipi (Cruz, 2008).

Portekiz'in 3 adet pelamis siparişi vermesi üzerine 2006 yılında prototip daha gelişmiş güç çevrim sistemleri ile donatılarak denemeler yapılmıştır (Şekil 2.19). 2007 yılının Nisan ile Temmuz ayı arasında Orkney'de yapılan testlerde sistemin yaklaşık %60'lık bir verimle dalga enerjisini dönüştürebildiği görülmüştür (Cruz, 2008).



Şekil 2.19 : Tam ölçekli Pelamis prototipinin donanım değişikliği için alındığı kuru havuzdaki görüntüsü (Cruz, 2008).

Wave Dragon sisteminin bir 1/4,5 ölçeğindeki bir prototipi Danimarka'nın kuzeyinde denenmekte ve geliştirilmektedir. Sistem bir iç denize yerleştirilmiş olup, fiziksel boyutları bu iç denizin dalga iklimine göre ölçeklendirilmiştir (Şekil 2.20). Ancak sistem üzerinde kullanılan türbinler, otomatik kontrol sistemleri ve şebeke bağlantı sistemleri açıkdenize yerleştirilecek olan, tam ölçekli tesiste kullanılacak olan sistemler ile aynıdır (Cruz, 2008).



Şekil 2.20 : 1/4,5 Ölçekli Wave Dragon pilot tesisinin görünümü (Cruz, 2008).

Sistemin prototipinin yerleştirilmesi için nispeten düşük enerjili, korunaklı bir iç deniz seçilmiştir. Bu sayede sistemin bileşenlerinin daha düşük maliyetlerle denenmesi hedeflenmiştir. Sistemin yerleştirildiği bölgenin enerji potansiyeli, Kuzey denizine yerleştirilecek olan esas sisteme göre 1/4,5 ölçeğinde bir prototipin yapılmasını gerektirmiştir. Yapının boyutlarının büyük olması nedeniyle, bu ölçekte bir sistemi gerçek deniz koşullarında test ederek, laboratuar ortamında sağlıklı bir şekilde yürütülemeyecek denemelerin yapılması hedeflenmiştir (Şekil 2.21). Denemeler sırasında prototip çeşitli yerlere yerleştirilmiş 100 den fazla sensör ve 5 adet kamera ile izlenmiştir (Cruz, 2008).

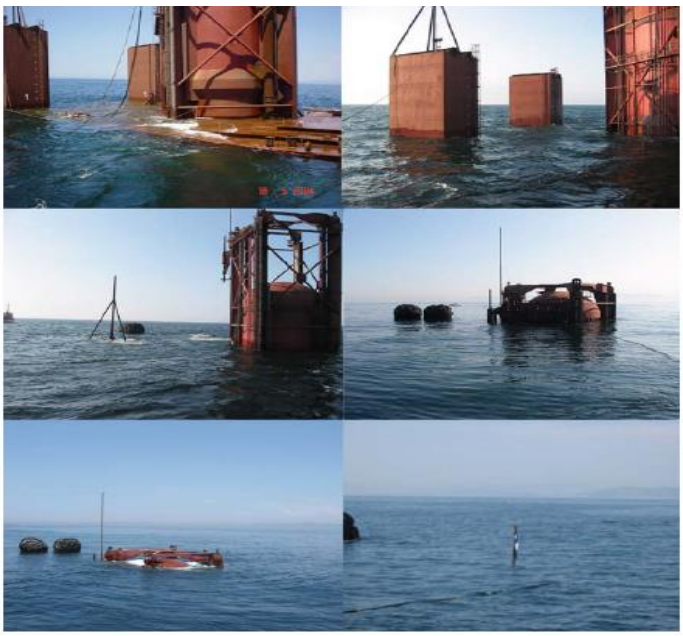


Şekil 2.21 : 1/4,5 Ölçekli Wave Dragon pilot tesisinin sert deniz koşullarında görünümü (Cruz, 2008).

Mart 2003 ile Aralık 2004 döneminde yürütülen çalışmaların sonucunda, Kuzey denizine yerleştirilecek olan sistemin yaklaşık olarak 3,2 GWh/yıl enerji üretebileceği tahmin edilmektedir. Sistemin jeneratörleri üzerinde yapılan son geliştirmelerin üretimi 2 kata yakın arttırabildiği görülmüştür. Buna göre sistemin yıllık enerji üretim kapasitesinin 6,5 GWh/yıl olması beklenmektedir. Bölgenin dalga iklimi dikkate alındığında bu üretim %18'lik bir enerji dönüştürme verimine denk gelmektedir. Sonuç olarak Wave Dragon prototipinin tüm alt elemanlarının denenip geliştirildiği bu testlerin sonuçları başarılı olarak değerlendirilmiş ve bir sonraki aşama olan, Wave Dragon sisteminin tam ölçekli olarak açık denize yerleştirilmesine geçilebilmiştir (Cruz, 2008).

Arşimed Dalga Salıncağı (Archimedes Wave Swing- AWS), sistemi AWS Ocean Energy Ltd. Şirketi tarafından geliştirilmiş olan bir dalga enerji dönüştürücüsüdür. Sistem deniz tabanına bağlı, ancak su altında batık olarak çalışan bir yapıdan oluşmaktadır (Şekil 2.22). Yapı içerisinde bulunan bir şamandıra, dalgaların neden olduğu basınç değişiklikleri ile aşağı yukarı hareket etmekte ve bu hareket sonucunda

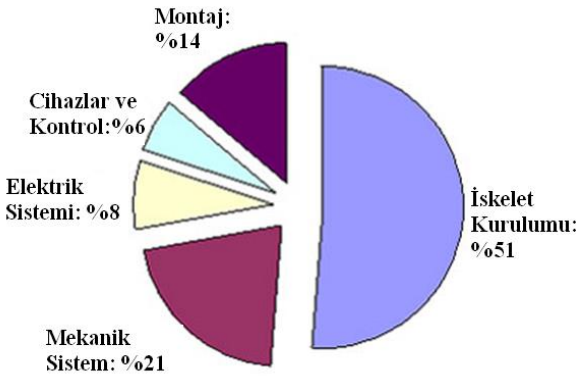
da lineer bir jeneratör ile elektrik üretmektedir. 2004 yılında, Portekiz açıklarında 2 MW gücünde bir sistem yerleştirilmiş ve yaklaşık 6 ay boyunca çeşitli testler yapılmıştır (Cruz, 2008).



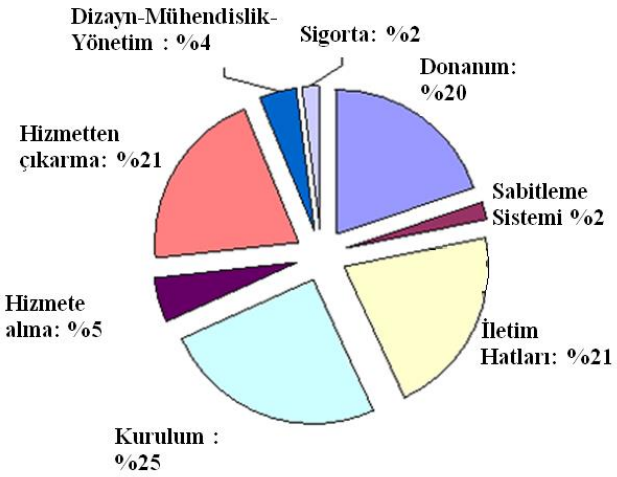
Şekil 2.22 : AWS sisteminin batırılma aşamalarından görüntüler (Cruz, 2008).

2.6 Dalga Enerjisinin Ekonomik Analizi

Dalga enerjisinin ekonomik analizi kullanılan sistemlerin etkinliği, yatırım maliyetleri, elde edilebilirlik ve işletme masrafları ile ilgilidir. Bir dalga enerjisi dönüştürücüsü oluşturmak ve kıyıya yerleştirmek için gerekli yatırım maliyetinin sistem elemanlarına göre dağılımı Şekil 2.23 ve 2.24'te verilmektedir.



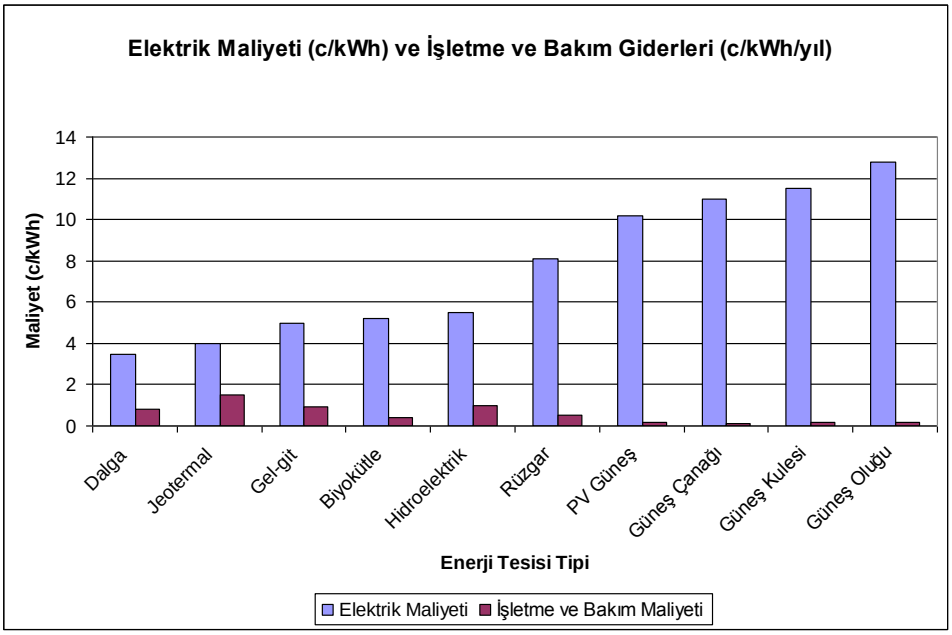
Şekil 2.23 : Bir dalga enerjisi dönüştürücüsünün oluşum maliyeti (Url-2).



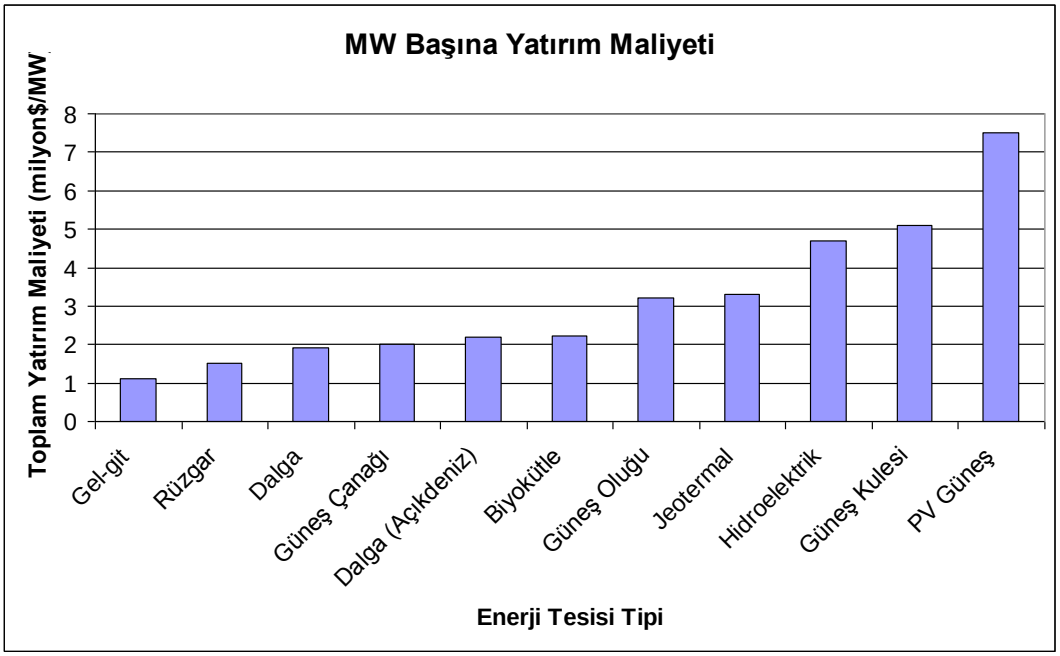
Şekil 2.24 : Dalga enerjisi dönüştürücüsünün sisteme montajı ile birlikte sistem oluşum maliyeti (Url-2).

Teknolojideki ve enerji tarifelerinin ekonomilerindeki gelişmelere bağlı olarak dalga enerjisi en çok rüzgar enerjisi ile karşılaştırılmaktadır. Rüzgar türbinlerinin enerji üretim maliyeti yaklaşık olarak 4,5 cent/kWh olarak kabul edilmektedir. Çeşitli ülkelerde, örneğin İngiltere'de en iyi dalga enerji üretim teknolojisi için maliyet 7,5 cent/kWh olarak verilmektedir. Mukayese olarak kömür santrallarında bu fiyat 2,6 cent/kWh, doğal gaz santrallarında ise 3 cent/kWh veya daha fazlası olarak alınmaktadır.

Kanada'da yapılan bir araştırmada ise (Dunnett ve Wallace, 2009) üç farklı tip dalga enerji üretim sistemi çok sayıda dalga aktivitesinin olduğu yerde değerlendirilmiştir. 25 GWh dalga enerjisi üretecek bir sistemin ekonomikliği iki kritere göre araştırılmıştır. Bu iki kriter 25 yıllık yaşam süresi ve 10 yıllık geri ödeme için belirlenecek elektrik fiyatıdır. Bunun için en düşük elektrik fiyatı 8.9 cent/kWh olarak bulunmuştur. Günümüzde, dalga enerji sistemlerindeki hızlı değişimlerle birlikte dalga enerjisi dünya piyasalarında ekonomik ve ticari olarak rekabet edebilecek duruma gelmiştir. Ceylan (2009) tarafından yapılan araştırma çalışmaları sonucunda verilen elektrik maliyeti ile işletme ve bakım maliyetlerinin yenilenebilir enerji kaynakları açısından karşılaştırılması Şekil 2.25'te verilmiştir. MW başına yatırım maliyeti ise Şekil 2.26'da görüldüğü gibidir.



Şekil 2.25 : Yenilenebilir enerji kaynaklarında elektrik maliyeti ve işletme ve bakım giderleri (Ceylan, 2009).



Şekil 2.26 : MW başına yatırım maliyeti (Ceylan, 2009).

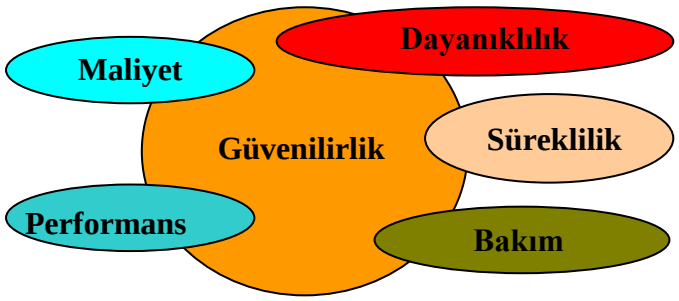
2.7 Dalga Enerjisinin Güvenirliliği

Güvenirlilik genel anlamda matematik olarak, R güvenirlilik, P olasılık, C kapasite ve D talep olmak üzere;

$$R = P(C > D) \qquad \textbf{(2.9)}$$

ifadesi ile verilmektedir. Bununla beraber enerji üretim sistemleri açısından güvenirliğin tanımında sistemin özelliğine bağlı güvenirliliği etkileyen bileşenlerin göz önüne alınması gerekmektedir.

Dalga enerjisinin güvenilirliğinde önemli olan faktörler Şekil 2.27'de özetlenmiştir.



Şekil 2.27 : Dalga enerjisinin güvenirliliğinin bağlı olduğu parametreler (Thies vd, 2008).

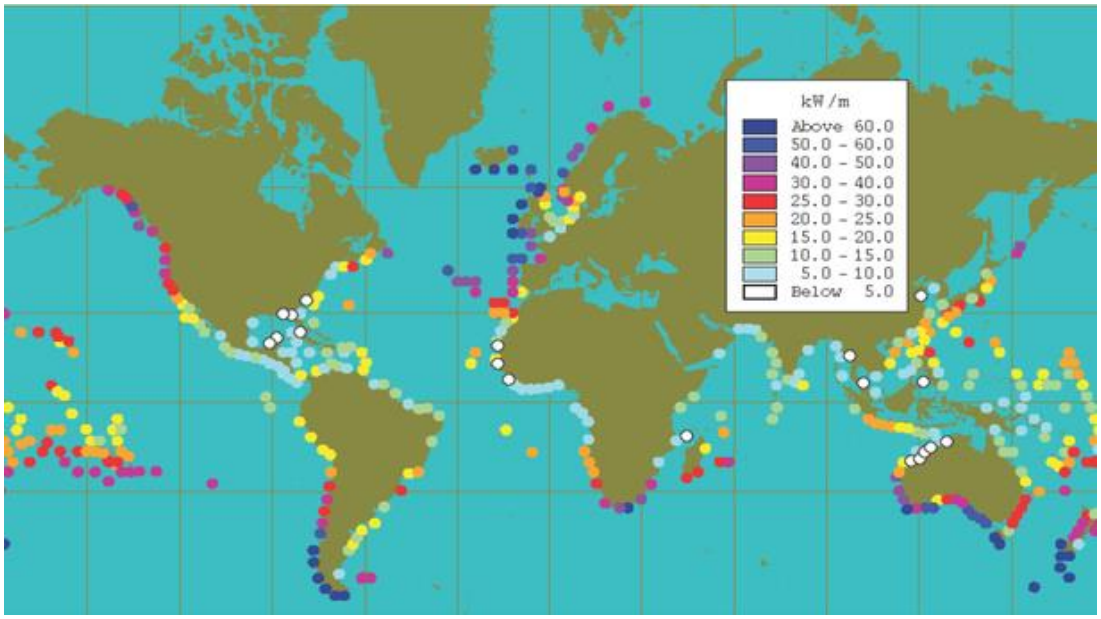
Dalga enerjisinin maliyetleri, ilgili diğer teknolojilerin (tuzlu sudan içme suyu temini tesisleri, balık ve rüzgar çiflikleri) gelişmesi ile azaltılabilir. Ayrıca rüzgar endüstrisi ile birlikte ortak projeler geliştirilerek enterkonnekte sisteme bağlanma maliyetleri paylaşılabilir. Dalga enerji maliyetlerinin gelecek 10 yıl içerisinde gelişen teknolojiler ile birlikte azalması beklenmektedir.

Dalga güç türbinleri elektrik üretimi dışında da kullanılmaktadır. Dünyada birçok adada dalga güç türbinleri tarafından sıkıştırılan hava kıyıda klimalarda kullanılmaktadır.

Dalga enerjisinin sürdürülebilirliği her şeyden önce hava koşullarına bağlıdır. Bununla birlikte dalga enerjisindeki değişkenlik genelde elektrik talebi ile uyumludur. Ayrıca çeşitli ülkeler tarafından toplanmış olan denizcilik verileri ile dalgaların en az 6 saat önceden tahmin edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle diğer yenilenebilir enerji teknolojilerinden bazılarına göre sisteme daha kolay entegre olabilmektedirler.

Okyanus enerjisini kullanılabilir enerji formuna dönüştürmekle ile ilgili ilk patent 1799 yılında alınmış ancak bu konudaki çalışmalar 1970'li yıllarda hız kazanmıştır. Gelişmiş ülkeler, kıyılarında mevcut olan dalga enerjisi potansiyellerini belirlemek için uzun süreli saha ölçümleri ve dalga tahminlerine dayalı çalışmalar yapmışlardır.

İç denizler hariç tutularak dünya genelinde halihazırda hesaplanmış dalga enerjisi potansiyelinin dağılımı Şekil 2.28'de verilmektedir.



Şekil 2.28 : Küresel dalga enerjisi potansiyeli (Url-3).

Dünya genelinde dalga enerjisi ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bir kısmı dalgada depolanan enerjiyi kullanılabilir enerji türlerine dönüştürebilecek sistemler geliştirilmesi, var olan sistemlerin verimlerinin artırılması ve uzun süreli dalga tahminleri yapabilen modeller geliştirilerek kurulacak bir sistemden elde edilebilecek enerjinin hesaplanmasına yöneliktir (Pelc ve Fujita, 2002; De, O ve Falcao, 2004; Rusu ve Guades, 2009; Folley ve Whittaker, 2009). Dalga enerjisi dönüşümü ile ilgili ilk ticari uygulama Wavegen firması tarafından 2000 yılında İskoçya'da gerçekleştirilmiştir. Limpet adı verilen sistem 0,5 MW güç üretmiş, daha sonra yine aynı firma tarafından yapılan kıyı (off-shore) uygulamaları ve bu uygulamalar üzerine rüzgâr jeneratörü kurulumu gibi projeler ile birlikte geliştirilmiştir. Bu ve benzer sistemlerle İngiltere 2002 yılından itibaren 2,5 milyon kWh/ yıl enerji üretebilmektedir. Günümüzde ise 1.000'den fazla patenti alınmış dalga enerjisi dönüşüm sistemleri bulunmakta olup, İngiltere, Portekiz, İspanya, İrlanda, Norveç, İsveç ve Danimarka uzun vadede dalga enerjisinden kullanılabilir enerji eldesi ile ilgili çalışmalarını sürdürmektedir1 (Rusu ve Guades, 2009; Folley ve Whittaker, 2009; Pelc ve Fujita, 2002; De, O. Ve Falcao, 2004). Avrupa Birliği 4. çerçeve programı desteğinde yürütülen Atlas Projesi (Url-1) kapsamında yapılan

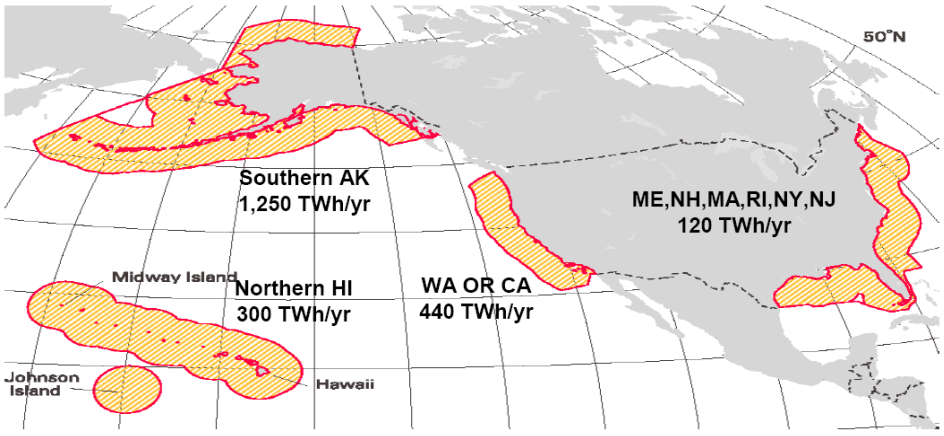
[1] Bu çalışmalar bir Avrupa Birliği projesi kapsamında yürütülmekte olup, böylece dalga enerjisi potansiyeline sahip kıyıların belirlenmesi, yapılan modellemeler ve geliştirilen sistemlerle ilgili olarak bilgi ve teknolojinin üretimi ve paylaşımının hızlanması hedeflenmektedir.

çalışmalarda Avrupa'nın çeşitli ülkeleri için dalga enerjisi potansiyelleri ve bu potansiyellerin teknik olarak ulaşılabilirlik miktarları belirlenmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2: Avrupa Kıyılarındaki Dalga Enerjisi Potansiyeli (Url-1).

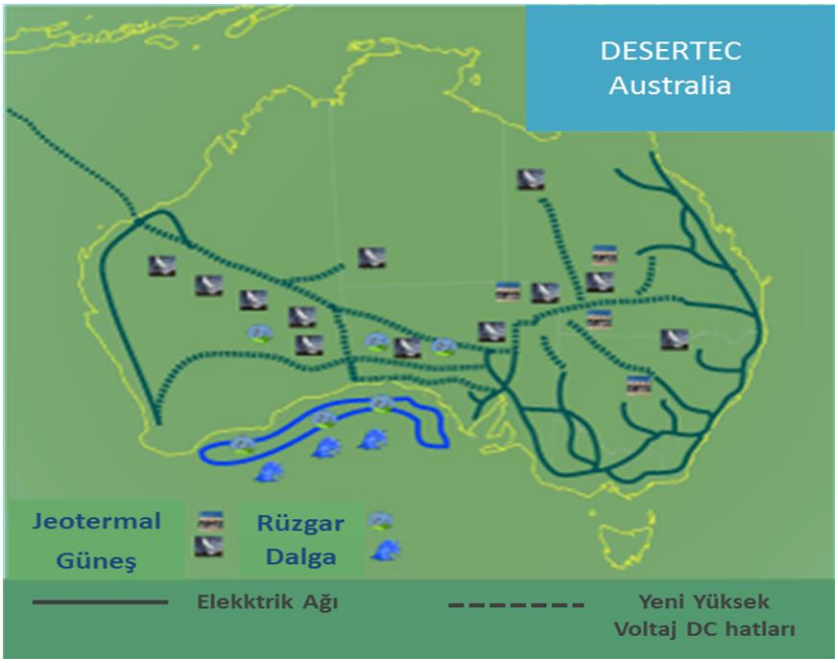
Ülke	Teknik Potansiyel (TWh/y)	
	Yakın kıyı	Açık deniz
Danimarka	2-3	5-8
Fransa	3-5	12-18
Almanya	0,3-0,5	0,9-1,4
Yunanistan	1-2	4-7
İrlanda	7-11	21-32
İtalya	3-5	10-16
Portekiz	4-6	12-18
İspanya	3-5	10-16
İngiltere	14-21	43-64

Benzer biçimde Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışma sonucunda kıyılarındaki dalga enerjisi potansiyeli 2.300 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır (Bedard vd., 2005) (Şekil 2.29).



Şekil 2.29 : Amerika kıyılarının dalga enerjisi potansiyeli (Bedard vd., 2005).

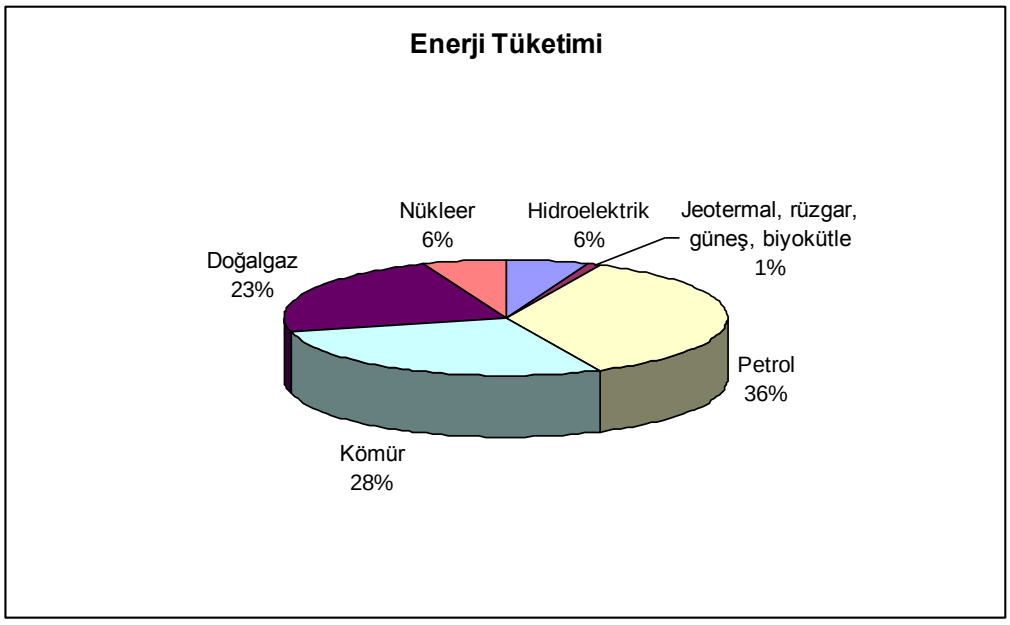
Avustralya'nın yenilenebilir kaynakları üzerine yapılan bir çalışmada ise dalga enerjisi Avustralya'nın önemli yenilenebilir kaynakları arasındaki yerini almış ve dalga enerjisi için uygun kıyıları aşağıdaki Şekil 2.30'da gösterilmiştir.



Şekil 2.30 : Avustralya'da yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel dağılımı (URL-4).

Ayrıca, Kanada, Yeni Zelanda, Şili, Çin gibi pek çok ülkenin dalga enerjisi ile ilgili yapmış oldukları faaliyetler devam etmektedir (Defne vd., 2009 ; Zhang vd., 2009; Dunnett ve Wallace, 2009).

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının genel enerji tüketimindeki yeri Şekil 2.31'de genel olarak özetlenmiştir (Ceylan, 2009).



Şekil 2.31 : Dünya genelinde enerji tüketiminde enerji kaynaklarının kullanım oranları (Ceylan, 2009).

3. TÜRKİYE'DEKİ DALGA ENERJİSİ POTANSİYELİ

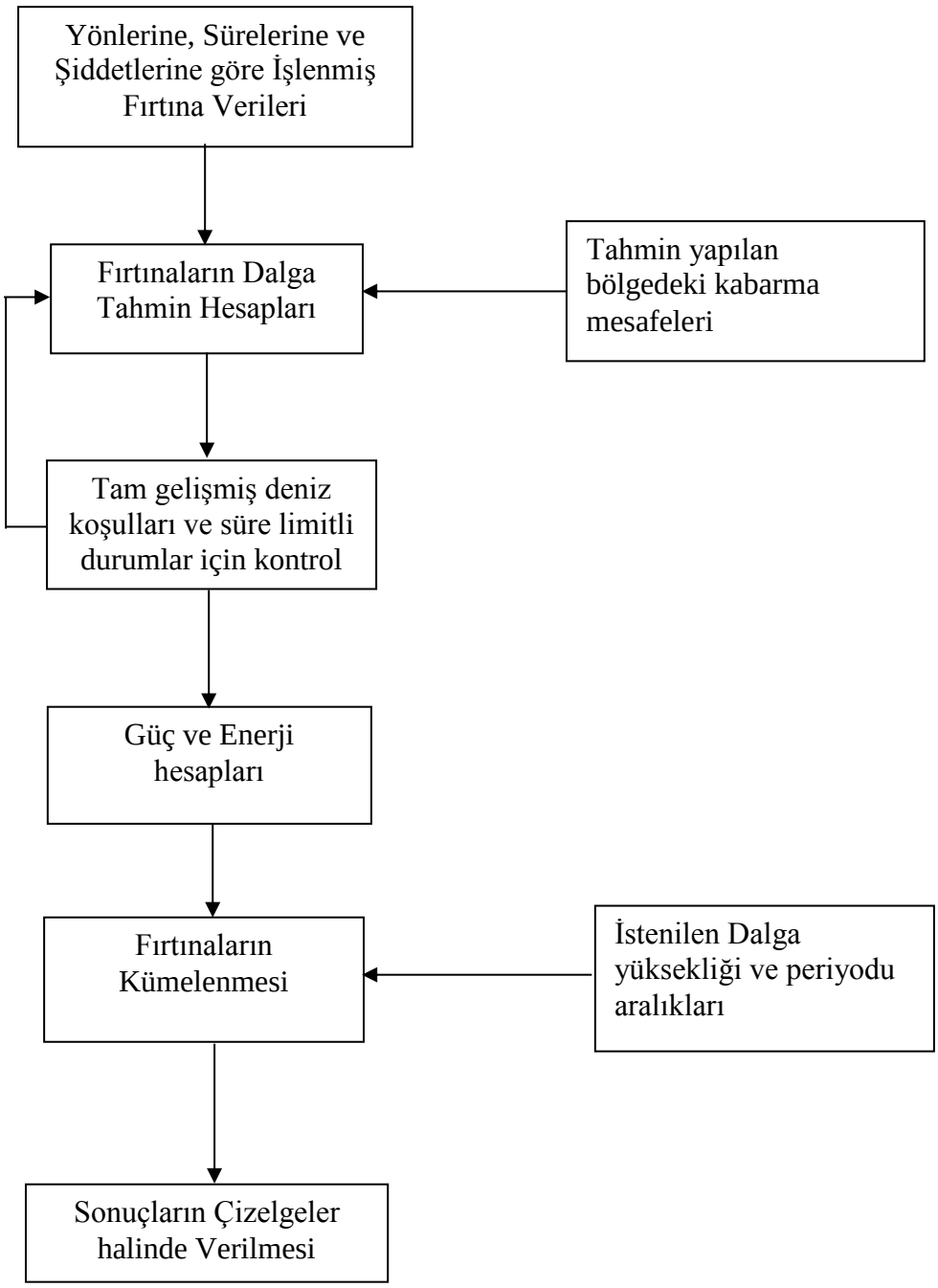
3.1 Dalga Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması

Ülkemizin okyanusa açılan kıyısı bulunmamakla birlikte, üç tarafı denizlerle çevrili olup, yaklaşık 8000 km'lik kullanılabilir kıyı şeridi uzunluğuna sahiptir. Ülkemizin dalga iklimini belirlemek, sahip olduğumuz dalga enerjisi potansiyelini tespit etmek ve bu potansiyelden mümkün olduğunca yaralanmak, günümüzde var olan enerji sıkıntısı göz önüne alındığında önem taşımaktadır.

Halihazırda, Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla, Bu tez çalışmasının yazarının da katılımı ile İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Enerji Enstitüsü ve İnşaat Fakültesi Hidrolik Anabilim Dalı bünyesinde bir araştırma projesi yürütülmüş olup, bu projede tüm kıyıları temsil edebilecek şekilde 31 meteoroloji gözlem istasyonda kaydedilmiş, 1984-1998 yılları arasında toplam 15 senelik süreyi kapsayan rüzgâr verileri kullanılarak dalga tahminleri yapılıp, bu bölgelerdeki dalga enerjisi potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır (Onöz vd., 2010). Dalga tahminlerinde, her bir rüzgar veri seti ait olduğu bölgenin coğrafi konumuna bağlı olarak, enerji üretilebileceği beklenen dalgaları oluşturabilecek yönler, hızlar ve esme süreleri dikkate alınarak düzenlenip literatürde verilmiş olan hesap yöntemleri kullanılarak oluşacak dalgaların karakteristikleri olan H_s ve T_m değerleri hesaplanmıştır.

Bu hesaplamaların hızlı bir şekilde yapılabilmesi ve sonuçların istenilen şekillerde çizelgelenerek sunulması için bu doktora çalışmasının yazarı tarafından, Microsoft Office Excel programı altında, VBA (Visual Basic for Applications) programlama dili kullanılarak bir program geliştirilmiştir.

Program, girdi olarak ayıklanmış ve işlenmiş fırtına verileri ile hesaplamaların yapıldığı bölgenin kabarma mesafelerini kullanarak her bir fırtınanın dalga karakteristikleri hesaplamaktadır. Hesaplanan dalgalar, kullanıcı tarafından belirlenen H_s ve T_m aralıklarına göre kümelenmekte ve bu kümelere ait fırtına sayısı, esme süresi, dalga gücü ve enerjisi gibi veriler çizelgeler halinde sunulmaktadır. Geliştirilen bu programın akış çizelgesi aşağıda Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1 : Dalga tahmini ve enerji hesaplarını gerçekleştiren programın akış çizelgesi.

Bu şekilde elde edilen dalga verileri belirgin dalga yükseklikleri ve periyodlarına göre gruplandırılmış ve her bir grubun toplam esme süreleri belirlenmiştir. Burada yüksek dalga potansiyeline sahip bölgelerimizden biri olan Karadeniz bölgesindeki Kumköy (17059 numaralı) meteoroloji gözlem istasyonu örnek olarak seçilerek, bu istasyon için elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Bu istasyon için açıkdeniz koşulları nedeniyle dalga enerjisinin yönden bağımsız olarak hesaplanmasının yeterli olacağı düşünülmüştür. Elde edilen dalga karakteristikleri ile

birim boya karşı gelen güç (J, W/m) hesaplanmıştır. Her gruptaki tüm fırtınaların birim boya gelen güçleri hesaplanıp bunlar da fırtınanın süresi ile çarpılarak fırtınaların 15 yıllık toplamda birim boya gelen enerjileri kWh/m olarak belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Kumköy dalga özelliklerine göre gruplandırılmış fırtınaların 15 yıllık toplam esme süreleri (saat).

		Tm (s)													
		3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	Grup Toplamı
Hs (m)	0-1	1101	1012	1437	2130	692	0	0	0	0	0	0	0	0	5196
	1-2	0	0	2	70	2353	3847	2200	67	0	0	0	0	0	10164
	2-3	0	0	0	2	2	9	1001	2389	397	0	0	0	0	3772
	3-4	0	0	0	0	2	6	3	35	1554	986	0	0	0	3074
	4-5	0	0	0	0	0	1	5	0	13	444	686	0	0	911
	5-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	564	240	0	745
	6-7	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	29	257
	7-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	56
														Toplam	24210

Çizelge 3.2 : Kumköy dalga özelliklerine göre gruplandırılmış fırtınaların 15 yıllık toplam enerjileri (kWh/m).

		Tm (s)													Grup Toplamı
		1-2	2-3	3-4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10-11	11-12	12-13	13-14	
Hs(m)	0 - 1	11	112	588	2533	1316	0	0	0	0	0	0	0	0	4559
	1 - 2	0	0	4	182	7621	25475	22845	889	0	0	0	0	0	57015
	2 - 3	0	0	0	25	41	106	15256	54707	12675	0	0	0	0	82809
	3 - 4	0	0	0	0	76	167	125	1431	66506	57994	0	0	0	126299
	4 - 5	0	0	0	0	0	49	346	0	902	37773	71300	0	0	110370
	5 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74793	36893	0	111686
	6 - 7	0	0	0	0	0	0	0	0	885	0	0	0	7328	8213
	7 - 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23619	23619
														Toplam	524572

Yukarıdaki Çizelge 3.2'de görüldüğü üzere bölgede kıyıya gelen dalga enerjisinin yaklaşık %93'ü 1m ile 6m, %70'i 1m ile 5m ve %50'si 1m ile 4m arasında belirgin dalga yüksekliğine sahip dalgalar tarafından taşınmaktadır (Şekil 3.2). Bu aralıktaki dalgaların ortalama yıllık toplam enerjileri yaklaşık 32.500 kWh/m.yıl değerine ulaşmaktadır. Günümüzde uygulanan teknolojiler ile dalga enerji dönüştürücülerinin net verimlerinin %50 civarında olduğu kabul edilirse (Hagerman ve Bedard, 2003) ve kişi başı yıllık enerji tüketiminin 2.500 kWh oldğu varsayımıyla, bölgede kurulacak bir dalga enerji dönüşüm tesisinin bir metrelik boyu başına yaklaşık 6 kişilik eşdeğer nüfusun yıllık toplam elektrik ihtiyacını karşılayabileceği tahmin edilmektedir.

Kumköy çalışmasına ilave olarak, yukarıda açıklanmış olan yöntemler kıyı bölgelerimizde bulunan çeşitli meteoroloji istasyonlarından elde edilmiş olan rüzgâr verileri üzerinde uygulanarak, bu bölgelerdeki dalga enerjisi potansiyelleri hesaplanmıştır. Aşağıda Şekil 3.2'de bu istasyonlar ve birim dalga genişliği için hesaplanmış olan yıllık ortalama enerji potansiyelleri sunulmaktadır.

Şekilde görüldüğü üzere, kıyılarımız genelinde en yüksek dalga enerjisi potansiyeli Batı Karadeniz kıyılarımızda bulunmaktadır. Öte yandan, birbirine çok yakın olan bazı istasyonların hesaplanan potansiyelleri arasında büyük farklar olduğu da yukarıdaki şekilde göze çarpmaktadır. Bunun nedeni, dalga enerjisi potansiyeli hesaplamalarında meteoroloji istasyonlarından temin edilmiş olan rüzgar verilerinin kullanılmış olmasıdır. Zira bu meteoroloji istasyonlarının bazılarında çeşitli nedenlerle belli sürelerde kayıt alınamamış, veya bazı bölgelerdeki istasyonlar konumları nedeniyle denizden gelen (dalga oluşturabilecek yönlü) rüzgarları kaydedememiş durumdadırlar. Bu nedenle, bahsi geçen proje sonucunda elde edilen sonuçlar fikir sağlamak adına faydalı olmasına rağmen herhangi bir bölgede bir dalga enerjisi dönüştürücüsü planlaması yapılması halinde, o bölgede uzun süreli dalga ölçümlerinin yapılması hem yapının potansiyeli, hem de tasarımı ve performansı için daha kesin bilgi sahibi olunmasını sağlayacaktır.



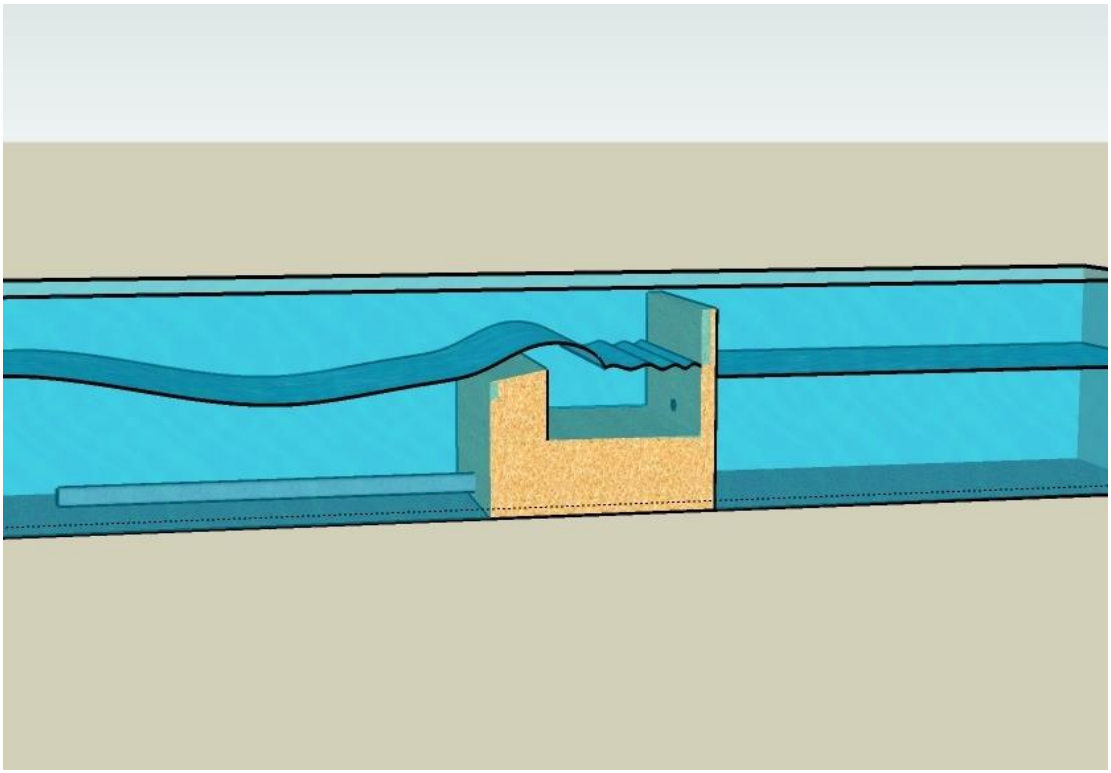
Şekil 3.2: Dalga tahminlerinin yapıldığı bölgelerin yıllık ortalama enerjileri (kWh/m.yıl).

4. TASARLANAN DÖNÜŞTÜRÜCÜ SİSTEMİN ÖZELLİKLERİ

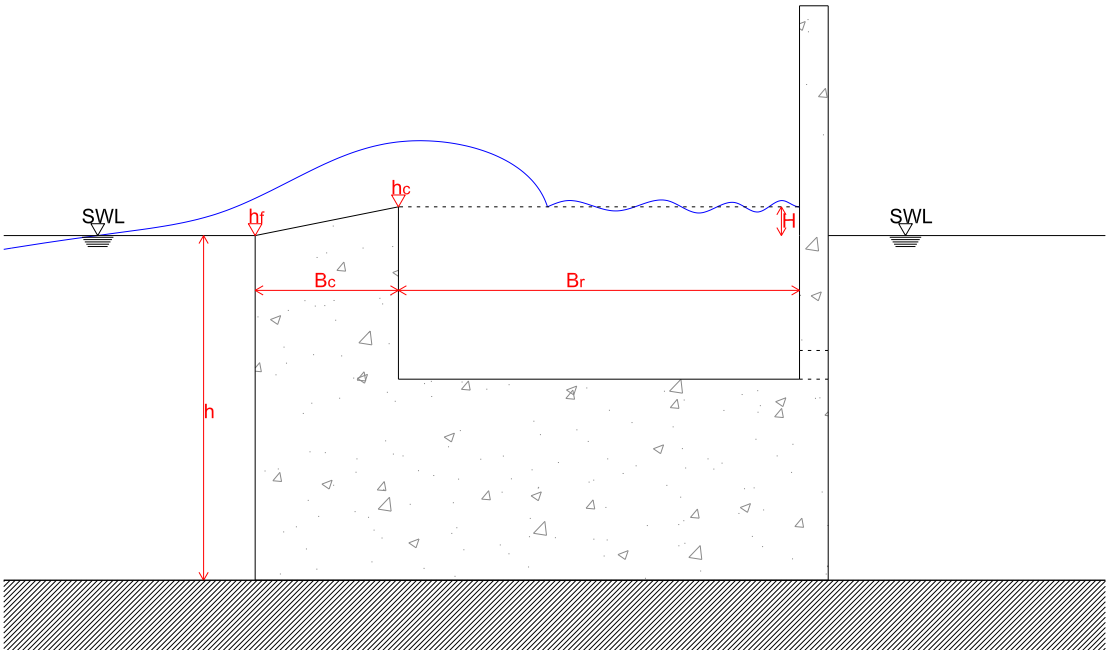
4.1 Tasarlanması Planlanan Sistemin Temel Prensiplerinin Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında temel tasarım parametrelerinin ortaya konması hedeflenen sistem, yapıya gelen dalganın eğimli bir yüzey üzerinden tırmandırılarak arkada bulunan hazneye aktarılması sonucunda normal deniz seviyesinden daha yüksek seviyede su biriktirme prensibine dayalı bir sistem olacaktır.

Aşağıda Şekil 4.1 ve 4.2'de bu sistemin temsili 3 boyutlu görünümü ve enkesiti verilmiştir.



Şekil 4.1 : Deneylerde kullanılan modelin temsili görünümü.



Şekil 4.2 : Deneylerde kullanılan modelin enkesiti.

Şekilde;

h_c (m): kret kotunu

h_f (m):yapı ön yüzü kotunu

h (m): yapı önü su derinliğini

B_c (m): eşik genişliğini

B_r (m): hazne genişliğini

H (m): hazne içi su kotu ile sakin su seviyesi arasındaki kot farkını göstemektedir.

Bu yapının temel tasarım parametreleri eğimli eşiğin eğimi ve kret kotu ile, hazne genişliği olarak görülmektedir. Eşiğin başlangıç kotunun da dalga yansıması üzerinde etkili olacağı düşünülmektedir. Farklı su derinliklerinde ve dalga özelliklerinde yapılacak denemeler ile bu parametrelerin optimizasyonu ve temel boyutlandırma kriterleri ortaya konulmaya çalışılacaktır.

Depolanmış olan bu potansiyel enerjiye sahip su kütlesinden elektrik üretimi hedeflendiğinde, sistemin gücü, oluşturulabilecek kot farkı ile bu kot farkında sağlanabilecek debinin fonksiyonu olacaktır. Hazne içerisine yerleştirilecek bir seviye ölçer ve hazneden su boşaltan boru üzerine yerleştirilen bir debi ölçer ile bu iki parametre takip edilebilecektir. Çıkış borusu üzerine yerleştirilecek bir vana yardımı ile de debi ve buna bağlı olarak seviye farklarındaki değişimler izlenebilecektir.

Öte yandan sistem sadece elektrik üretim amaçlı olarak da düşünülmemelidir. Özellikle su kalitesinin önem taşıdığı yat limanları veya turistik bölgelerdeki balıkçı barınakları göz önüne alındığında, bu sistem dalgakıran olarak çalışmasının yanında liman içerisine dışarıdaki temiz suyun kontrollü bir şekilde girmesini de sağlamaktadır. Bölgenin mevcut akıntı durumu da göz önüne alınarak uygun şekilde yerleştirilecek çıkış boruları liman içerisindeki su çevrimine katkıda bulunabilecek ve su kalitesinin bozulmasının önüne geçebilecektir.

4.2 Düşey Yüzlü Kıyı Yapıları

Düşey yüzlü kıyı yapılarının çok eski çağlarda (yığma taş bloklarla) inşa edilmiş örnekleri bulunsa da, modern mühendislik tarihinde özellikle 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren bu tip yapılara rastlanmaktadır (Goda, 1985). Kıyı koruma amacıyla inşa edilen düşey yüzlü yapılar Batı ülkelerinde genellikle dalga kırılmasının baskın olmadığı derin yerlere inşa edilirken, Japonya gibi doğal blok taşların nicelik ve nitelik açısından yetersiz olduğu Doğu ülkelerinde yapı kırılan dalgalara da dayanmak durumundadırlar. Dökme taş dalgakıranların inşasındaki bu dezavantajdan dolayı Japonya'da, düşey yüzlü kıyı koruma yapıları oldukça yaygın olarak inşa edile gelmiştir.

Goda (1985), dökme taş dalgakıranlar ve düşey yüzlü dalgakıranları dalga karşısındaki davranışları açısından şu şekilde kıyaslar: Dökme taş dalgakıranlar gelen dalgayı bir eğim üzerine kırılmaya zorlayarak enerji harcanması yaratırken, düşey yüzlü dalgakıranlar belirgin bir enerji harcanması yaratmadan gelen dalgayı geriye yansıtırlar.

Düşey yüzlü yapılar üzerinde dalga etkisi ile meydana gelen dinamik kuvvetlerin (dolayısıyla da basınç dağılımının) belirlenebilmesi ile ilgili bilimsel çabalar 1842'ye kadar uzanmaktadır: Stevenson kendisinin icat ettiği özel bir ölçek ile dalga basıncını ölçmüştür (Stevenson, 1986). Daha sonra 1890 ile 1902 yılları arasında birçok dalga basıncı ölçümü gerçekleştiren Gaillard (1905), su parçacığı hızlarına dayalı bir formülasyon önermiştir.

Daha sonra Stevenson ölçeğinin geliştirilmiş bir modeli ile dalga basıncı ölçümü yapan Hiroi (1919), 35 ton/m^2 mertebesinde değerler ölçmesine rağmen yaptığı basınç ölçümlerini düşey yüzlü yapının stabilitesi açısından değerlendirmemiş, bu

yüksek mertebeli basınç değerlerini "lokal bir olgu olarak" addetmiştir. Bunun yerine dalga basıncını tıpkı bir su jetinin basıncı gibi kabul etmiş ve dalga basıncı için aşağıdaki formülü önermiştir:

$$p = 1{,}5 w_0 H \qquad \textbf{(4.1)}$$

Burada p dalga basıncı, w_0 deniz suyunun özgül ağırlığı, H ise gelen dalganın (tasarım dalgasının) yüksekliğidir. Dalga basıncının üniform olarak sakin su seviyesinden (SSS) 1,25 H aşağıya kadar etkidiği kabul eden Hiroi, dalga yüksekliği hakkında yeterli bilginin olmadığı yerlerde d su derinliği olmak üzere H = 0,9 d alınmasını önermiştir. Buradan anlaşılacağı üzere Hiroi, esas olarak düşey yüzlü kesit üzerinde kırılan dalganın basıncını hesaplamaya çalışmıştır. Önerdiği bu basit yöntem özellikle Japonya'da düşey yüzlü kıyı yapılarının tasarımında 60 yıldan fazla kullanılmıştır (Goda, 1985).

Daha sonra Sainflou (1928) tarafından düşey yüzlü kesit önünde "duran dalga" için ikinci dereceden dalga denklemleri ile önerilen formülasyon dünya çapında kabul görmüştür. Sainflou yaklaşımına göre:

- Dinamik dalga basıncı SSS'de maksimum değerindedir.
- Dinamik dalga basıncı SSS ile deniz tabanı arasında lineer olarak değişmektedir.
- Dinamik dalga basıncı SSS'den H + δ_0 mesafe yukarıda sıfır olacak şekilde, yukarıya doğru lineer olarak azalır (H dalga yüksekliği, δ_0 ise tırmanma yüksekliğidir).

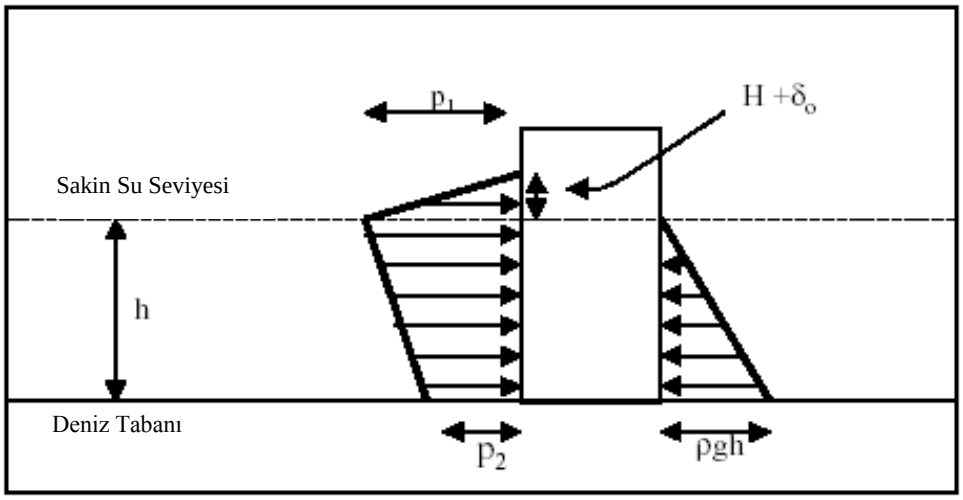
Bu lineer basınç dağılımı Şekil 4.3'de verilmiştir.

Şekildeki P_1, P_2 ve δ_0 değerleri şöyle verilmektedir:

$$p_1 = (p_2 + \rho g h)\,(H + \delta_o)/(h + H + \delta_o) \qquad \textbf{(4.2)}$$

$$p_2 = \rho g H / \cosh(2\pi h/L) \qquad \textbf{(4.3)}$$

$$\delta_o = (\pi H^2/L)\,\coth(2\pi h/L) \qquad \textbf{(4.4)}$$



Şekil 4.3 : Sainflou'ya (1928) göre düşey yüzlü kıyı koruma yapısı üzerinde kırılmayan dalga için basınç dağılımı.

Burada ρ, g, δ_o, h, H, T ve L sırası ile deniz suyunun özgül kütlesi, yerçekimi ivmesi, dalga tırmanması, derinlik, gelen dalganın yüksekliği, gelen dalganın periyodu ve gelen dalganın uzunluğudur.

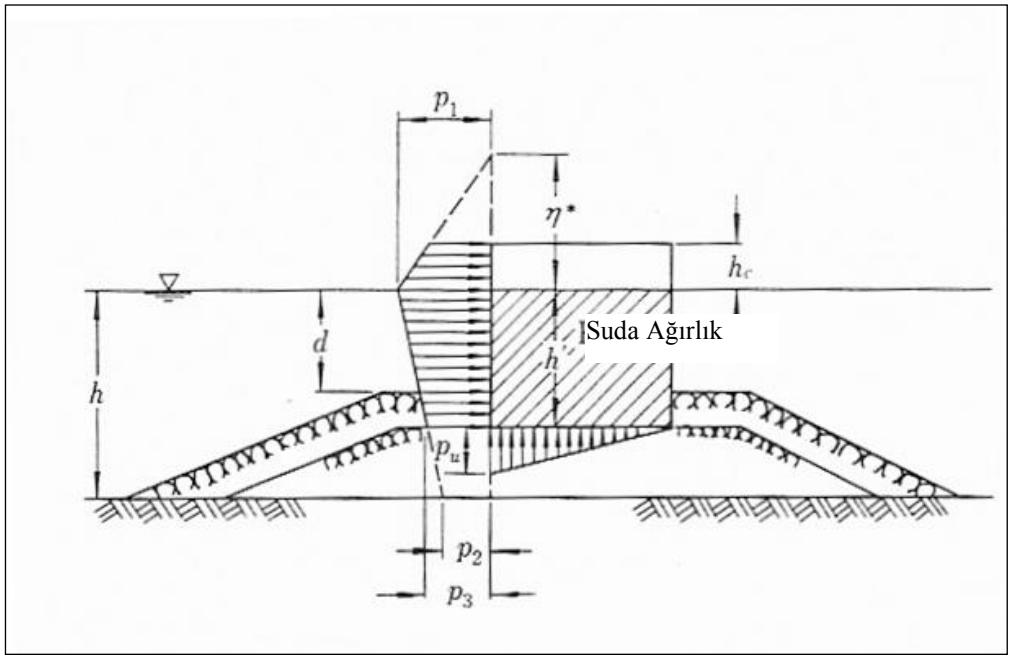
Goda (1985), 1980'lere kadar Japonya'da inşa edilen düşey yüzlü kıyı yapılarının tasarımında kırılan dalgalar için Hiroi formülasyonunun, kırılmayan dalgalar için de Sainflou formülasyonunun kullanıldığını belirtmektedir. Ancak inşa derinliğinin çok az değişmesi ile Sainflou yönteminden Hiroi yöntemine geçildiğinde dalga basıncı %30 mertebesinde artmakta ve mühendislik açısından istenmeyen bir çelişki ortaya çıkmaktadır.

20. Yüzyılın ortasında Minikin (1950) kırılan dalgaların düşey yüzlü kesit üzerindeki dinamik basınç dağılımı için kısmen Bagnold'un (1939) laboratuar verilerine dayanan bir formülasyon önermiştir. Ancak bu formülasyon oldukça konservatiftir ve ortaya çıkan dinamik dalga basınçları da hayli yüksektir (Goda, 1985).

Tadjbakshsh ve Keller (1960) sonlu genlikli dalgaların üçüncü dereceden denklemlerini kullanarak, kırılmayan dalga durumunda düşey yüzlü kesitler üzerindeki dinamik dalga basıncı için bir formülasyon önermişlerdir. Ardından Ito ve diğ. (1971) hem kırılan dalga hem de kırılmayan dalga durumu için model deneylerine dayanan tek bir formül ortaya koymuş ve tasarım dalgası olarak düzensiz dalga serisindeki en büyük dalganın (H_{max}) kullanılmasını önermiştir. Bu yöntem daha sonra hem deneysel (Goda ve Fukumori, 1972) hem de teorik (Goda ve Kakizaki, 1967) yaklaşımlarla geliştirilmiş ve düşey yüzlü kesitler için yeni bir

formülasyon ortaya konmuştur (Goda, 1974). Daha sonra konu ile ilgili birçok çalışma yapılmış olsa da, düşey yüzlü kıyı yapılarının tasarımında bugün bile en çok kullanılan yöntem Goda'nın (1974) formülasyonu olmuştur.

Bu formülasyonda basınç dağılımı kırılan veya kırılmayan dalga durumu için de yamuk şeklindedir (Şekil 4.4). Burada *h, d, h'* ve h_c mesafeleri sırasıyla; inşa derinliği, topuk üstü derinliği, yapının SSS altında kalan kısmının yüksekliği ve yapının SSS üstünde kalan yüksekliğidir.



Şekil 4.4 : Goda'ya (1974) göre düşey yüzlü kıyı koruma yapısı üzerinde dinamik dalga basıncı dağılımı.

Bu hesaplamalarda gelen dalga yüksekliği $H = H_{max}$ olarak kabul edilmiştir. Bu dalgaya tekabül eden periyot da belirgin dalga periyodudur ($T_{max} = T_{1/3}$).

Şekil 4.4'te gösterilen, SSS'den itibaren basınç dağılımının devam edeceği yükseklik:

$$\eta^* = 0,75(1+\cos\beta)H_{\max} \qquad \textbf{(4.5)}$$

olarak verilmektedir. Bu şekil üzerindeki basınç değerleri:

$$p_1 = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)(\alpha_1+\alpha_2\cos^2\beta)w_0 H_{\max} \qquad \textbf{(4.6)}$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)} \qquad \textbf{(4.7)}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \tag{4.8}$$

$$p_u = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)\alpha_1\alpha_2 w_0 H_{\max} \tag{4.9}$$

ifadeleri ile hesaplanmaktadır. Buradaki β, yapıya etkiyen dalganın ortagonalinin yapı normali ile yaptığı açıdır ve 15^o'lik bir düzeltmesi vardır. α_1, α_2, α_3 katsayıları da:

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2}\left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right]^2 \tag{4.10}$$

$$\alpha_2 = \min\left\{\frac{h_b - d}{3h_b}\left(\frac{H_{\max}}{d}\right)^2, \frac{2d}{H_{\max}}\right\} \tag{4.11}$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h}\left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)}\right] \tag{4.12}$$

şeklinde verilmektedir. 4.11 ifadesinde ortaya çıkan h_b terimi, yapının 5 $H_{1/3}$ mesafe ötesindeki taban derinliğini göstermektedir. Bu yönteme göre, dalga yapı üzerinden aşsa dahi basınç dağılımının değişmeyeceği kabul edilmiştir.

Diğer taraftan düşey yüzlü bir kesit üzerinde meydana gelecek en yüksek dinamik dalga basıncının, tam olarak kesit üzerinde kırılan bir dalga ile oluşan "çarpma basıncı" (impact pressure) olduğu yapılan birçok deneysel çalışma ile ortaya konmuştur (Mogridge ve Jamieson, 1980; Kırkgöz, 1982, 1990, 1991, 1995). Kırkgöz ve Mengi (1986, 1987) bu tip bir dalganın etkisi altında kalacak bir kompozit dalgakıran için, laboratuar verilerine ve teorik bir yaklaşıma dayanan basitleştirilmiş bir tasarım yöntemi önermiştir. Burada yapının stabilitesi açısından etkiyen çarpma basıncının büyüklüğü kadar etkime süresi de önem kazanmaktadır. Zira Kırkgöz (1990) yüksek çarpma basınçlarının kısa süreli etkimesi sonucu önemsiz sayılabilecek yapı deplasmanları, buna karşın daha düşük mertebede çarpma basıncının daha uzun süreli etkimesi sonucu ciddi mertebelerde yapı deplasmanları kaydetmiştir. Bu sonuçlar teorik bir yaklaşımla Kırkgöz'ün (1990) çalışmasını değerlendiren Tanrıkulu ve diğ. (2002) tarafından da doğrulanmıştır. Dinamik dalga basıncının zamansal değişimini tespit etmenin zorluğundan dolayı Kırkgöz ve diğ. (2004), deneysel verilere dayanan eşdeğer bir statik analiz yöntemi ortaya koymuşlardır.

Düşey yüzlü bir kıyı yapısı üzerinde dalga kırılması sonucu ortaya çıkan çarpma basınçlarının, yapının genelinde meydana getirebileceği deplasmanlar ile ilgili olarak da birçok çalışma yapılmıştır. Bu deplasmanlar ötelenme ve dönme olarak ikiye ayrılabilir. Yapının ataletinden kaynaklanan direnç kuvvetleri dolayısıyla bu deplasmanların bir kısmı titreşim hareketi olarak da ortaya çıkabilmektedir. Oumeraci ve Kortenhaus (1994) bir kütle-yay sabiti modeli ile bu ötelenme ve dönme titreşimi mekanizmasını ortaya koymaya çalışmışlardır. Wang ve diğ. (2006) da bu tip bir model ile keson tipi bir düşey yüzlü yapının stabilitesini benzeştirmeye çalışmışlardır. Goda (1994) düşey yüzlü yapıların ötelenme hareketini (kayma hasarını) benzeştirmeye çalışmış ve basit bir model ortaya koymuştur. Takahasi ve diğ. (1994) keson bir yapının çarpma basıncı karşısındaki dinamik tepkisini modellemeye çalışmış ve ötelenme mesafesinin hesaplanması için bir model ortaya koymuştur. Shimosako ve Takahashi (1994), Goda ve Takagi (2000), Kim ve Takayama (2003) düşey yüzlü monolitik kıyı yapılarının çarpma basıncı sonucu basit ötelenme deplasmanı ile ilgili güvenli tarafta kalınması için tasarım yöntemleri geliştirmeye çalışmışlardır. Daha sonra Wang (2001), Wang ve diğ. (2004), Wang ve diğ. (2006) yalnızca basit ötelenme hareketi değil de, ötelenme hareketi ve yapının temel/taban sürtünmesi koşulları ile dönme hareketine geçişi de benzeştirebilmek için fiziksel model verileri ile de karşılaştırdıkları teorik ve numerik bazlı yöntemler önermişlerdir.

Bagnold (1939), Mitsuyasu (1966), Ramkema (1978), Oumeraci ve Partenscky (1991) ve Topliss (1994) düşey yüzlü bir kıyı yapısının maruz kaldığı yüksek çarpma basıncının yapı ile gelen dalga arasında sıkışan havanın katkısı ile oldukça önemli mertebede arttığını belirterek, sıkışan havanın etkisini çeşitli şekillerde modellemeye çalışmışlardır. Wood ve diğ. (2000) düşey yüzlü bir kıyı yapısı ile gelen dalga arasında sıkışan havanın etkisini basınç-impuls teorisi ile ortaya koymuşlardır. Elde ettikleri sonuçları da küçük ölçekli deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır.

Düşey yüzlü monolitik kıyı koruma yapılarının dalga etkisi ile kara tarafına doğru meydana gelen deplasmanlarının yanında, bazı yapılarda denize doğru deplasmanlar da gözlemlenmiştir. Bu sonuca yapının üzerinden aşan dalganın, kara tarafında yüksek çarpma basınçları oluşturmasının ve özellikle yapı ile dalga arasında kalan hapsolmuş havanın bu basıncı daha da arttırmasının neden olduğu düşünülmektedir. Minikin (1950) 1934'te hasar gören Tunus'taki Mustafa dalgakıranının, deniz

tarafına doğru yıkılması ile ilgili bulgu ve tespitlerini kaydetmiştir. Oumeraci (1994), 22 adet düşey yüzlü dalgakıran hasarı vakasını incelediği çalışmasında, deniz tarafına doğru kaymış veya eğilmiş birçok düşey yüzlü dalgakıran belirlemiştir. Goda (1967) yapı derinliğinin gelen dalga boyunun ¼'ünden büyük olması durumunda, kara tarafındaki maksimum kuvvetlerin deniz tarafındaki maksimum kuvvetlerden büyük olacağını belirtmiştir. Ancak bu yaklaşım Mustafa dalgakıranının hasarını açıklamamaktadır. Zira Minikin'in (1950) açıklamalarına göre, dalgakırandaki deniz tarafına doğru çökme "ani" meydana gelmiştir. Bu da, muhtemelen bir dalga çukurunun varlığı ile meydana gelmiş, deniz tarafına doğru gerçekleşen bir çarpma yükü ile açıklanabilir. Walkden ve diğ. (2001) yaptıkları deneysel çalışma ile keson bir dalgakıran modelinin üzerinden aşan dalganın, yapının arkasında hapsolan havanın da katkısı ile deniz doğru yüksek ani basınçlar ortaya çıkarabileceğini göstermişler ve analitik bir hesap yöntemi önermişlerdir.

4.3 Dalga Aşma Prensibi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bu tez çalışmasında önceki bölümlerde açıklandığı üzere dalga aşması prensibi ile çalışan sistem üzerinde yoğunlaşılarak teorik ve deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu sistemde dalganın eğimli bir yüzey üzerinden tırmandırılarak yapı üstünden aşarak arkada bulunan hazneye aktarılması öngörülmektedir.

Bu yapının temel tasarım parametreleri eşiğin eğimi ve kret kotu ile, hazne genişliği olarak görülmektedir. Eşiğin başlangıç kotunun da dalga yansıması üzerinde etkili olacağı düşünülmektedir.

Bu sistemin temel performans parametreleri ise hazne içerisinde oluşturulan kot farkı (H) ve dalga aşma debisi (q) olacaktır. Bu iki parametre dönüştürülen hidroelektrik gücün de göstergesi olacaktır.

Hazne içerisinde oluşturulabilecek en yüksek kot farkı teorik olarak yapının kret kotuna eşit olabilecektir. Bu durumda yapı performansını gösteren ana parametre, belirli bir kret kotu için sağlanabilecek dalga aşma debisi olacaktır.

Deneysel çalışmalardan önce, dalga aşma debilerinin yapı ve dalga özellikleri ile olan ilişkisinin ortaya konabilmesi için bir dizi hesaplamalar üzerinde çalışılmıştır.

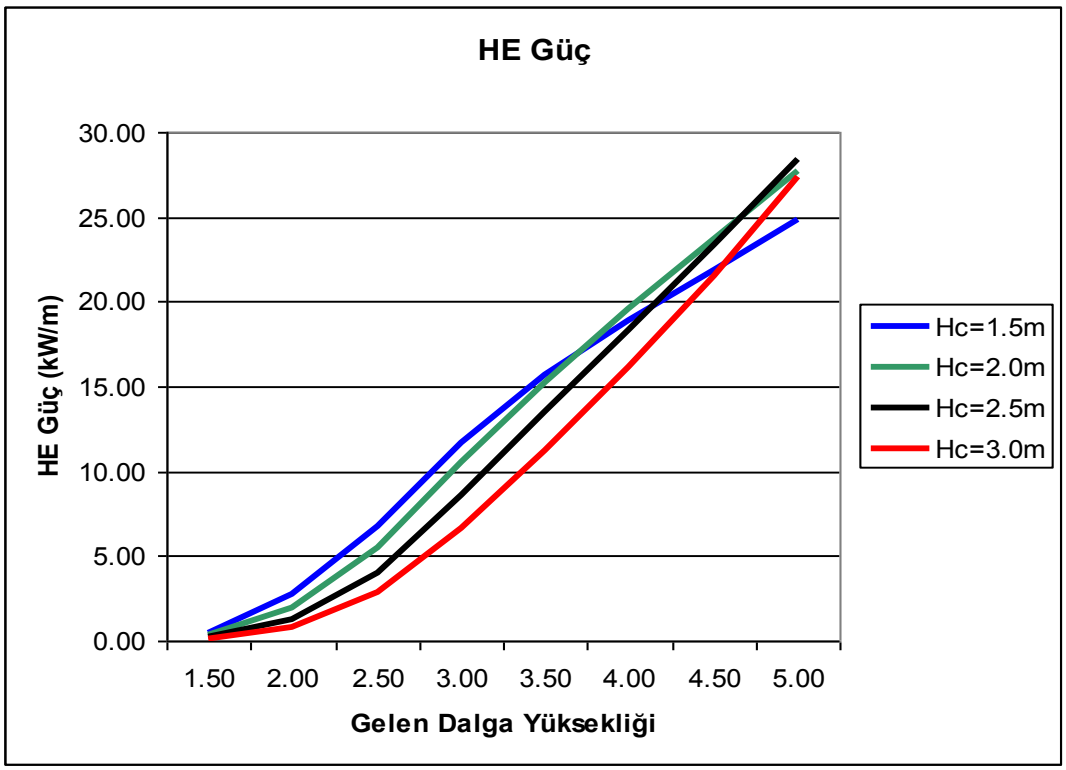
Bu hesaplamalar için İngilterede bulunan HR Wallingford kurumunun önderliğinde, pek çok Avrupa ülkesinin araştırma kurumlarının işbirliği ile hazırlanmış olan

"Dalga Aşma Kılavuzu" (Overtopping Manual) ve bu kılavuzun web sitesinden ücretsiz olarak edinilebilen çevrimiçi çalışan veya kişisel bilgisayara indirilebilen hesaplama araçları kullanılmıştır (Url-5).

Bahsi geçen hesaplama araçları kıyı koruma amaçlı yapıların çeşitli dalga etkilerinde maruz kalacakları aşma debilerinin yaklaşık olarak hesaplanmasında kullanılmak üzere geliştirilmiş olup kesin projelendirilmeler için mutlaka deneysel çalışmalar yapılması kılavuzda tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada da bu hesaplama araçları, deneysel çalışmalarda incelenecek olan konfigürasyonların seçilmesinde yol gösterici olarak kullanılmışlardır.

Bu hesaplamalarda, yapının 6m su derinliğine yerleştirildiği kabul edilip farklı dalga özellikleri altında, ve farklı kret kotları ve ön yüz eğimleri ile elde edilebilecek olan aşma debileri ve buna bağlı olarak da performans değerleri denenmiştir.

Öncelikle yapı ön yüz eğiminin 1 olduğu kabulü ile farklı kret kotları için dalga yüksekliklerine bağlı olarak dalga aşma debileri hesaplanmıştır. Bu aşma debileri teorik olarak haznede oluşturulabilecek olan en yüksek kot farkı ile çarpılarak hidroelektrik güçler elde edilmiştir. Hesaplamaların sonuçları Şekil 4.5'de özet olarak sunulmaktadır.

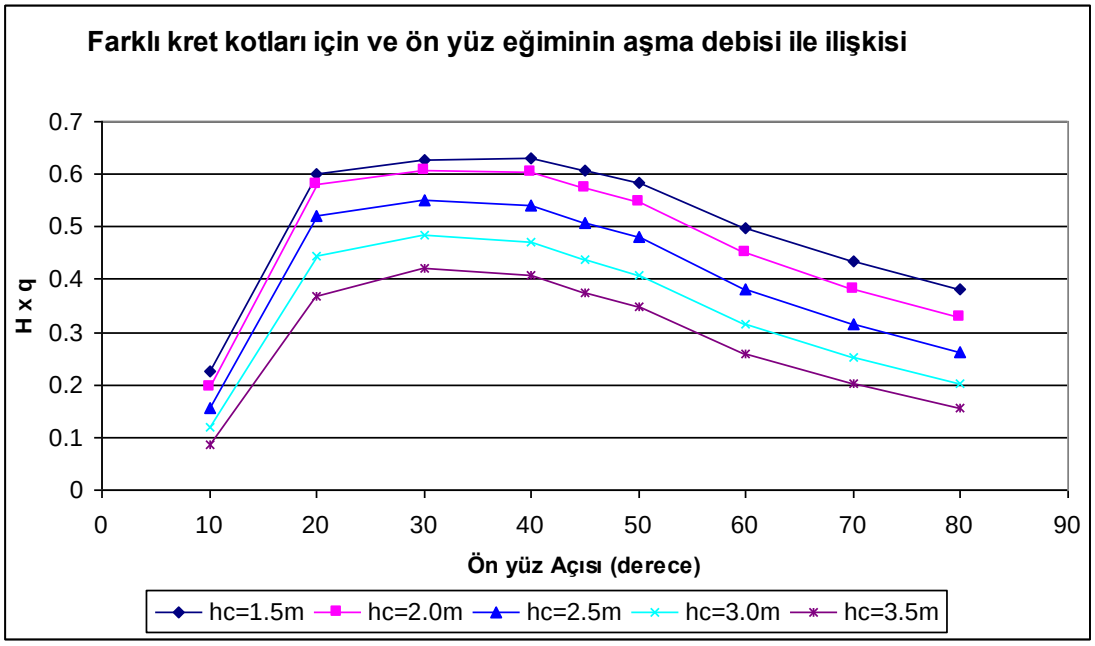


Şekil 4.5 : Farklı kret kotları için dalga yüksekliği ile aşma debisinin ilişkisi.

Şekilde görüldüğü gibi, 3,5 m dalga yüksekliğine kadar en yüksek HE gücü en düşük kret kotuna sahip olan (1,5 m) yapı sağlamaktadır. Bunun nedeni kret kotu arttıkça dalga aşma debisinin oransal olarak daha fazla azalmasıdır. Bu durumda, elektrik enerjisi üretilmesi planlanan bir sistem söz konusu ise, üreteçlerin verimli bir şekilde çalışabileceği en düşük kot farkının (düşü yüksekliği) sistemin en yüksek güç üreteceği durum olacağı söylenebilir.

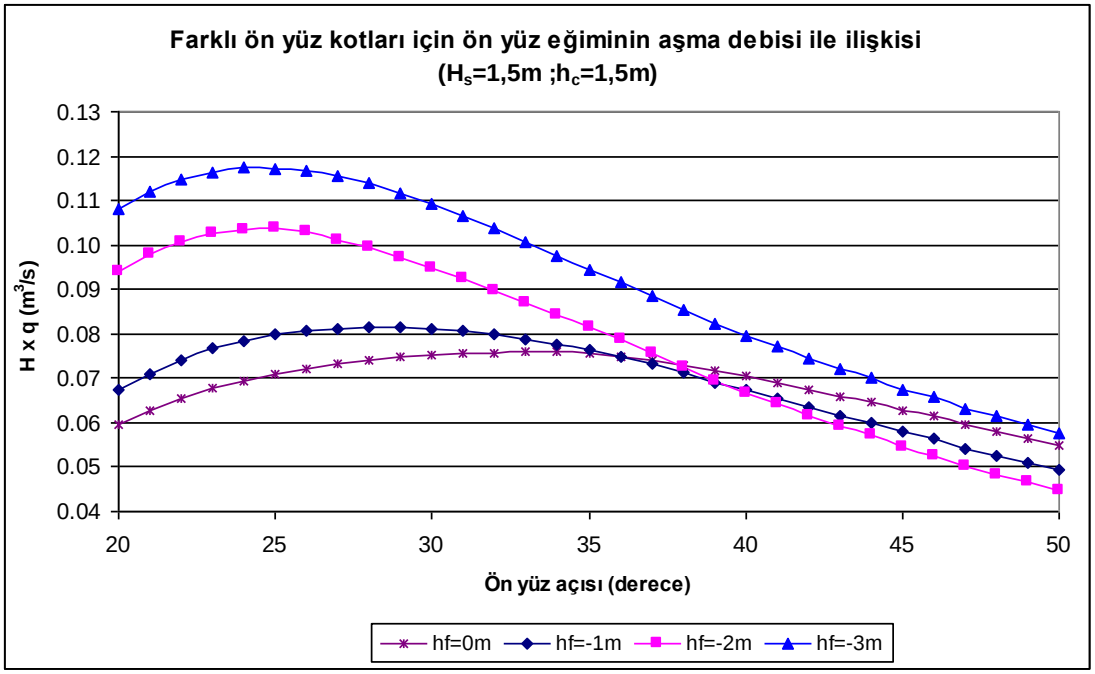
Ön yüz eğiminin aşma debisi üzerindeki etkisinin görülebilmesi için de bir dizi hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalarda, ön yüzün yatayla 10 derece ile 80derece arasında açı yapacak şekilde yerleştirildiği varsayılmıştır. Aynı dalga etkisi altında farklı kret kotları için hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, önyüzün yatayla 20 ile 50 derece arasında açı yapması halinde en yüksek aşma debisi sağlanmaktadır. Ön yüz eğimi arttıkça yansımalar artmakta, ön yüz eğimi azaldıkça da dalga kırılmaları meydana geldiği için aşma debileri düşmektedir. Bu durumda yapının ön yüz eğiminin 20 ile 50 derece arasında olmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Ayrıca, en düşük kret kotlu konfigürasyonun en yüksek hidroelektrik gücü sağladığı da şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6: Farklı kret kotları (h_c) için Ön yüz eğiminin dalga aşma debisi ile ilişkisi.

Yapının ön yüz kotunun (h_f) dalga aşmasına olan etkisi ise Şekil 4.7'te görülmektedir.



Şekil 4.7: Farklı önyüz kotları (h_f) için ön yüz eğiminin dalga aşma debisi ile ilişkisi.

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi yapının ön yüz kotunun aşma debisi üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.

5. FİZİKSEL MODELLEME

5.1 Deneysel Çalışma Yönteminin Belirlenmesi

Deneysel çalışmaların başlangıcında, dalga kanalındaki dalga üreteci tarafından üretilen dalgaların karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde, öncelikle halihazırda elde bulunan piston serileri kullanılarak ve tekrarlı denemeler yapılarak üretilen dalgalar ölçülmüştür. Kanalın diğer ucunda dalgaların kırılması için 1/5 eğimli kum bir şev oluşturularak yansımaların engellenmesi amaçlanmıştır (Yağcı ve Kabdaşlı, 2003).

Bu denemeler farklı su seviyelerinde tekrarlanarak eldeki piston serilerinin karşılığında üretilebilen dalgalar ölçülmüş ve deneylerde kullanılacak olan su seviyesi ile dalga özellikleri seçilmiştir.

Ayrıca, yansımanın en aza indirgendiği bu kanalda alınan dalga kayıtları, tasarlanan sistemlerin denendiği deneylerdeki dalga kayıtları ile karşılaştırılarak kanala yerleştirilen yapının yol açtığı yansımalarının belirlenmesinde kullanılacaktır. Tasarlanması hedeflenen yapının dalga enerjisini dönüştürmesi amaçlandığı için yapıdan yansıyan dalgalar sistemin kullanamadığı dalga enerjisinin bir göstergesi olacaktır.

Dalga karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen ilk aşama deney çalışmalarının tamamlanmasının ardından, tasarlanan sistemlerin ölçekli modelleri kanal içerisine yerleştirilerek deneyler yürütülmüştür.

Deneysel çalışma her ne kadar düzensiz dalgalar da üretilebilen bir kanalda gerçekleştirilmiş olsa da, çalışmanın temelini oluşturacak deneyler düzenli dalgalarla yürütülmüştür. Düzenli dalgalar hem daha kontrol edilebilir şartlar sunmakta, hem de tasarlanan sisteme gönderilen enerjisinin düzensiz dalgalara göre daha yüksek doğrulukla hesaplaması imkanı sunmaktadır. Düzenli dalgalar ile yapılan denemelere ilave olarak, elde edilen sonuçların düzensiz dalgalar için de uygulanıp uygulanamayacağının belirlenebilmesi adına, ve gerçek deniz koşullarında sistemin

performansının değerlendirilmesi amacıyla düzensiz dalgalarla da denemeler yapılmıştır.

5.2 Kurulan Modelin Özellikleri

Bölüm 4.3 te sunulmuş olan dalga aşma debi hesapları sonucunda, deneysel çalışmalarda, yatayla 25 derece ile 45 derece arasında açı yapan 5 farklı eğim ve 0 cm, -5 cm ve -10 cm olmak üzere 3 farklı ön yüz kotunun kombinasyonlarının denenmesine karar verilmiştir. Bu şekilde oluşturulan konfigürasyonlarda, modelin kanal içerisindeki yüksekliği değiştirilerek farklı kret kotları da elde edilebilecektir. Öngörülen konfigürasyonların numarası, ön yüz kotları ve ön yüzün yatayla yaptığı açılar aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir:

Çizelge 5.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan model konfigürasyonları.

Konfigürasyon numarası	Ön yüz kotu, h_f (cm)	Ön yüz açısı (derece)
1-1	0	45
1-2	0	40
1-3	0	35
1-4	0	30
1-5	0	25
2-1	-5	45
2-2	-5	40
2-3	-5	35
2-4	-5	30
2-5	-5	25
3-1	-10	45
3-2	-10	40
3-3	-10	35
3-4	-10	30
3-5	-10	25

Deneylerde kullanılacak olan modelin imalatında hem işleme kolaylığı hem de şeffaf olması nedeniyle pleksiglas malzeme tercih edilmiştir. Kesonun ana yapısı, daha önceden aynı kanaldaki bir çalışma için kullanılmış olan, 1 cm kalınlığında pleksiglas parçalar kullanılarak imal edilmiş bir modelden alınmış olup bu model

üzerinde gerekli değişikler yapılmıştır (Şekil 5.1). Denenmesi planlanan değişik ön yüz konfigrasyonları için gerekli olan yeni parçalar 8 mm kalınlığındaki pleksiglas levhalardan kestirilmiştir. Kesilen bu parçalar üzerinde belirlenen noktalara basınçölçerlerin takılabilmesi için gerekli delikler delinip dişler açılmıştır. Deney çizelgesine göre sırası gelen konfigürasyonun parçaları model üzere monte edilmiştir. Deneyler sırasında modellenen farklı önyüz konfigürasyonları için, pleksiglas model üzerinde değişikliklerin yapılması gerekmiştir. Bu değişikliklerin pratik bir şekilde yapılabilmesi için modelin parçalarının yapıştırılması yerine vidalı montaj tercih edilmiştir. Hazne içi ve ön yüzdeki sızdırmazlık özelliği taşıması gereken bölgeler sudan etkilenmeyen ve kolaylıkla sökülüp takılabilen özel bir bant kullanılarak sızdırmaz hale getirilmiştir. Her konfigürasyondaki deney setleri tamamlandıktan sonra, modelin eğimli ön yüzü değiştirilip, eğimli ön yüzü taşıyan arka duvarın konumu da yeni ön yüze göre ayarlanıp vida ve bantlarla sistem sabitlenmiştir.

Aynı konfigürasyona sahip ancak kret kotları farklı olan denemeler için model altı uygun boyutlarda ahşap parçalarla beslenerek yükseltilmiştir. Yükseltilen modelin altı ile kanal tabanı arasında kalan boşluk, deney sonuçlarını etkilememesi için özel olarak boyutlandırılmış ahşap bloklarla kapatılmıştır.



Şekil 5.1 : Modelin arka yüzünün ve hazne çıkış borusunun perspektif görünümü.

5.3 Deneysel Çalışmaların Yürütülmesi

Öncelikle, eldeki dalga serilerinin dalga karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla 1/5 eğime sahip bir kum kıyı oluşturulmuştur. Bu eğimdeki kıyı üzerinde gelen dalgaların tümünün kırılacağı ve yansımaların olmayacağı kabul edilmiştir. (Yağcı ve Kabdaşlı 2003) Çalışmalarda su derinliği 60cm olarak seçilmiştir.

Dalga üretici sistemin bilgisayarında mevcut bulunan tüm dalga serileri bu koşullarda üretilerek ölçülmüştür. Üretilen dalgaların karakteristikleri belirlenip içlerinden ana deneylerde kullanılacak olanları seçilmiştir. Aşağıda Çizelge 5.2 ve 5.3'telerde seçilen düzenli ve düzensiz dalgaların karakteristikleri görülmektedir.

Çizelge 5.2 Deneyler için seçilen düzenli dalgaların özellikleri.

Dalga Seri Numarası	Dalga Yüksekliği (cm)	Dalga Periyodu (sn)
11	11,6	0,8
22	12,9	1,0
32	14,8	1,0
13	11,6	1,2
33	13,3	1,2

Çizelge 5.3 Deneyler için seçilen düzensiz dalgaların özellikleri.

Dalga Seri Numarası	Maksimum Dalga Yüksekliği Hmax (cm)	Belirgin Dalga Yüksekliği Hs (cm)	Ortalama Dalga Yüksekliği Hm (cm)	Maksimum Dalga Periyodu Tmax (s)	Belirgin Dalga Periyodu Ts (s)	Ortalama Dalga Periyodu Tm (s)
06	14,87	9,21	5,83	1,72	1,21	0,96
09	16,28	9,64	6,16	2,03	1,30	1,00
12	15,48	11,43	7,44	2,56	1,37	1,041
20	17,30	10,96	7,44	2,70	1,72	1,25

5.4 Deneyler Sırasında Ölçülen Parametreler ve Ölçüm Sistemleri

Gerçekleştirilen deneyler boyunca su *profili zaman serileri* (dalga zaman serileri), Yapının çeşitli noktalarında *dinamik basınç zaman serileri* ve hazne çıkış borusu çıkışında *3 boyutlu akım hızları zaman serileri* ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bu amaçla kullanılan yöntemler ve sistemler aşağıda açıklanmıştır. Deneylerin yapıldığı kanal, model ve deneyler sırasında kayıtların alındığı sistemler aşağıda Şekil 5.2 de görülmektedir.



Şekil 5.2 : Deney kanalı, model ve ölçüm-kayıt sistemlerinin toplu görünümü.

5.4.1 Dalga zaman serileri ölçme ve kaydetme sistemi

Dalga zaman serilerinin ölçülmesi için HR Wallingford tarafından imal edilen 3 adet "direnç tipi seviye ölçer" ve 8 kanallı bir "dalga monitörü" kullanılmış, veriler 20 Hz örnekleme sıklığında bir A/D (analog-dijital) dönüştürücü kart yardımıyla bilgisayara kaydedilmiştir.

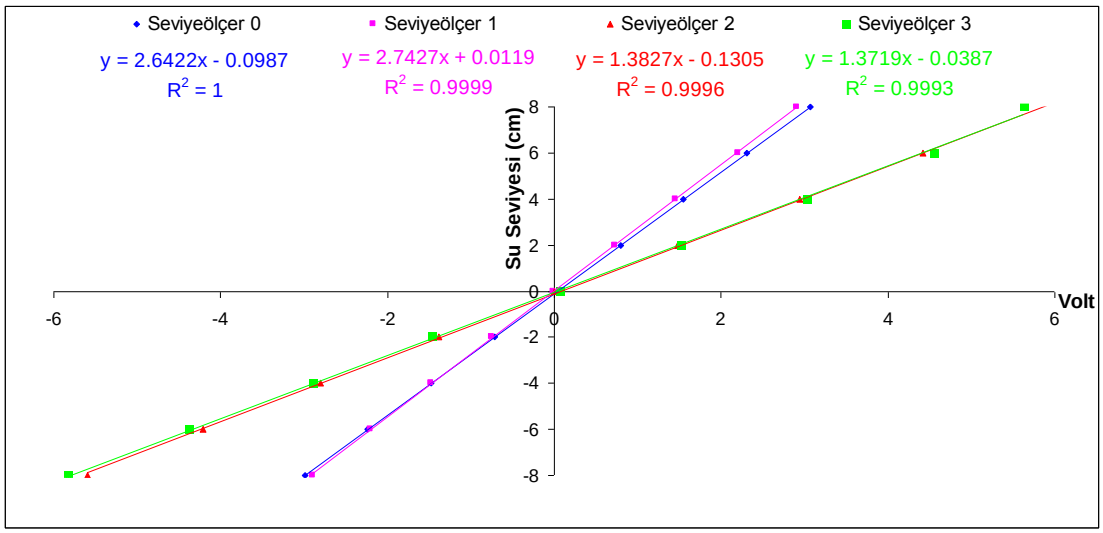
Direnç tipi seviye ölçerler, sabit bir besleme voltajını suyun içinde bulundukları noktadaki seviye değişimleriyle lineer olarak değişen bir oranda ileterek seviyenin zamanla değişimini ölçme prensibine dayanmaktadırlar (Şekil 5.3). Dalga monitörü ise seviye ölçerleri sabit bir doğru akım voltajıyla besleyerek, geri beslenen verinin lineerliğini sağlar. Dalga monitöründen A/D karta iletilen analog voltaj sinyalleri, İ.T.Ü.'de geliştirilen bir yazılım ile kaydedilmiş ve deneylerden önce elde edilen kalibrasyon eğrilerine göre dalga zaman serisi değerlerine dönüştürülmüştür (Ünal, 1996). Örnek bir kalibrasyon eğrisi Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.3 : Deneylerde kullanılan bir direnç tipi dalga ölçerin kanala monte halde görünümü.

Deneylerde kullanılan 3 adet seviye ölçer dalga kanalını ortalayacak şekilde model yapının önyüzünden itibaren sırasıyla 6 cm; 38 cm ve 6,00 m uzaklığa yerleştirilmiştir. Aralarındaki eşit olmayan mesafeler dolayısıyla veri kaydında

ortaya çıkan faz farkı dalga serilerinde yapıya gelen ve yapıdan yansıya dalga bileşeninin belirlenmesinde faydalı olmaktadır. (Goda ve Suzuki 1976)



Şekil 5.4 : Seviye ölçerlerin DC Voltaj-Su seviyesi ilişkisini gösteren örnek kalibrasyon grafiği ve lineer regresyon parametreleri.

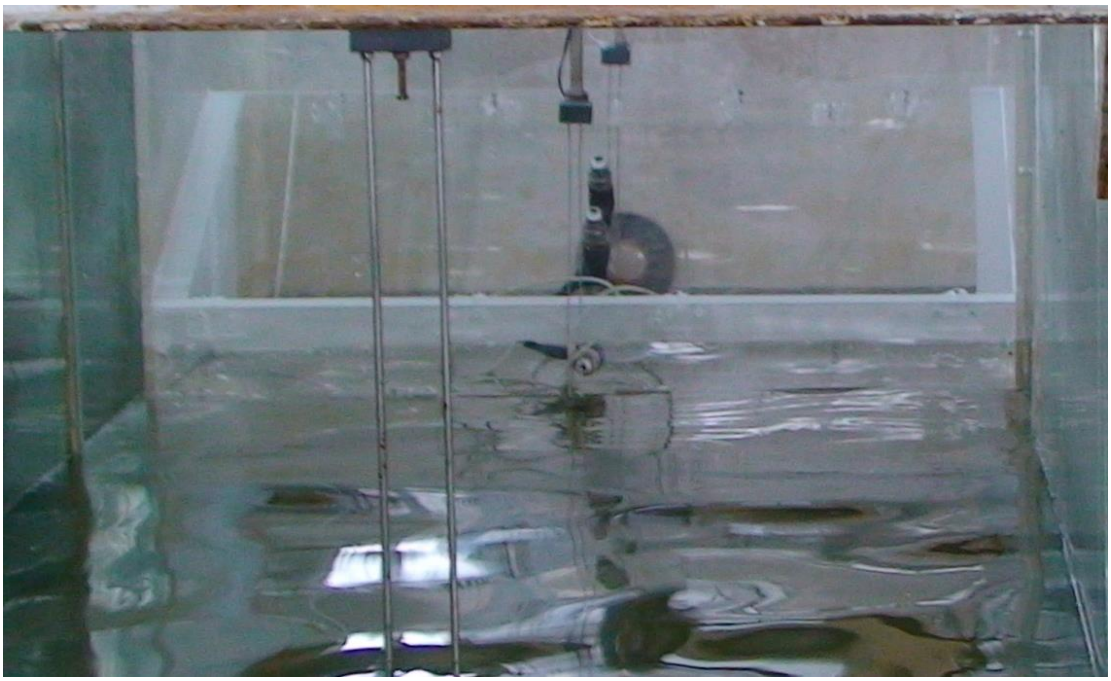
5.4.2 Basınç zaman serileri ölçme ve kaydetme sistemi

Basınç zaman serilerinin ölçülmesi için 4 adet "piyezoelektrik algılayıcı tipte basınçölçer" kullanılmış, veriler Agilent tarafından imal edilen bir veri kaydedici[2] vasıtasıyla 32 Hz örnekleme sıklığı ile bir kişisel bilgisayara kaydedilmiştir.

Kullanılan basınçölçerler (direnç tipi seviye ölçerlere benzer şekilde) sabit bir DC voltajıyla beslenmekte ve basıncın artmasıyla lineer olarak değişen bir voltaj sinyali vermektedirler. 0~1 Bar (0~100 kPa) arasında lineerliğini kaybetmeden ölçüm yapabilmek üzere fabrika çıkışında kalibre edilmiş bu basınçölçerler atmosfer basıncına "rölatif" olarak okuma yapmaktadırlar. Yine de bu basınçölçerlerin lineerliği deneylere başlanmadan önce bir "hidrostatik basınç testi" ile teyit edilmiş, karesi 1'e çok yakın olan lineer korelasyon katsayıları bulunmuştur. Basınçölçerlerden gelen analog voltaj sinyali ayrı bir modül olan veri kaydedici cihazla dijitale çevrilerek bir kişisel bilgisayara aktarılmakta ve kaydedilmektedir.

Model üzerine monte edilen basınç ölçerler Şekil 5.5'te görülebilir.

[2] İng. *data logger*.



Şekil 5.5: Model önünde ve içinde bulunan 3 adet seviyeölçer ve modele monteli haldeki basınçölçerlerin kanal içerisinden görünümü.

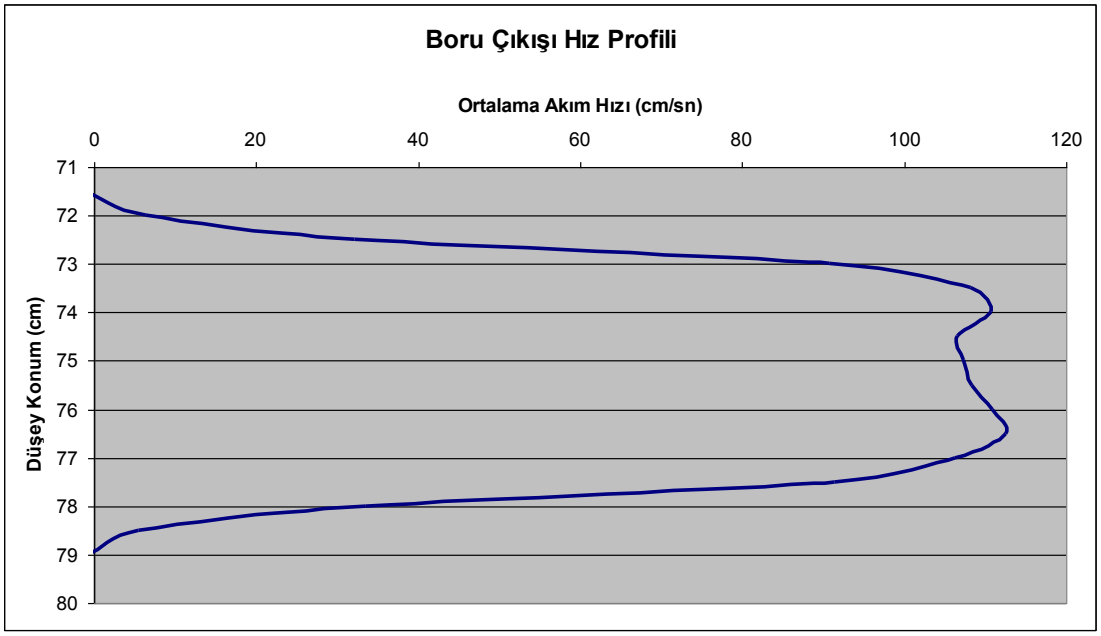
5.4.3 Debi ölçüm sistemi

Sistemin temel tasarım parametrelerinden olan çıkış debisinin, deneylerin yapıldığı model üzerinde ölçülebilmesi için ilk etapta bir debimetre temini öngörülmüştür. Ancak çeşitli üretici ve tedarikçi firmalar ile yapılan görüşmeler sonucunda, ihtiyaç duyulan özellikleri taşıyan ve deney ortamındaki koşullara uygun olan bir sistem bulunamamıştır. Bu duruma çözüm olarak, dalga aşması ile yapı içerisine giren suyun bir şekilde kanal dışına alınıp doğrudan hacimsel ölçümlerle debinin bulunması veya çıkış borusunun ucunda akım hızının ölçülmesi yoluyla debinin belirlenmesi yöntemleri düşünülmüştür. Birinci yöntem hem karmaşık borulamalar gerektireceği için, hem de özellikle düzensiz dalgalar ile yapılan uzun süreli deneylerde veya aşma debisinin büyük olduğu dalga ve yapı koşullarında kanal içerisindeki su seviyesinin de değişmesine yol açacağı için tercih edilmemiştir. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik laboratuarında, 3 boyutlu, akustik hızölçerlerin mevcut ve uzun süredir sorunsuz bir şekilde kullanılıyor olması da hız ölçümünün seçilmesinde etken olmuştur. Bu yöntemde en önemli dezavantaj, boru çıkışında sadece noktasal ölçüm yapılabilmesidir. Bu noktasal hız değerleri kullanılarak debi hesabına geçilebilmesi için akımın boru enkesitindeki hız dağılımının bilinmesi gereklidir. Bu hız dağılımının belirlenebilmesi ilave ölçümler yapılması gerekli olmuştur. Bu ölçümlerde, deney sırasındaki koşulları olabildiğince benzeştirmek için hazneyi

doldurabilen özellikte bir dalga serisi seçilip suyun durgun olduğu halden başlayarak bu dalga serisi sisteme gönderilmiştir. Haznenin dolması sağlandıktan sonra da dalga durdurularak haznenin tekrar boşalması sağlanmıştır. Bu şekilde, boru çıkışındaki farklı noktalar için, haznenin dolması, dolu olarak maksimum debinin geçmesi, ve tekrar boşalması halleri için sürekli hız-zaman serisi kayıtları alınmıştır.

Yapılan ölçümlerin sonucunda, akım hızlarının düşük olması nedeniyle, hız dağılımının uniforma yakın olduğu görülmüştür (Şekil 5.6). Bu da noktasal hız ölçümünden yola çıkarak debi hesabının yapılmasındaki hata payını en aza indirecektir.

Hız ölçümlerinde Nortek A.S. tarafından üretilmiş olan "Vectrino" laboratuar tipi akustik hız ölçer kullanılmıştır. Ölçümler sırasında cihazın veri alma sıklığı 50 Hz olacak şekilde ayarlanmıştır.

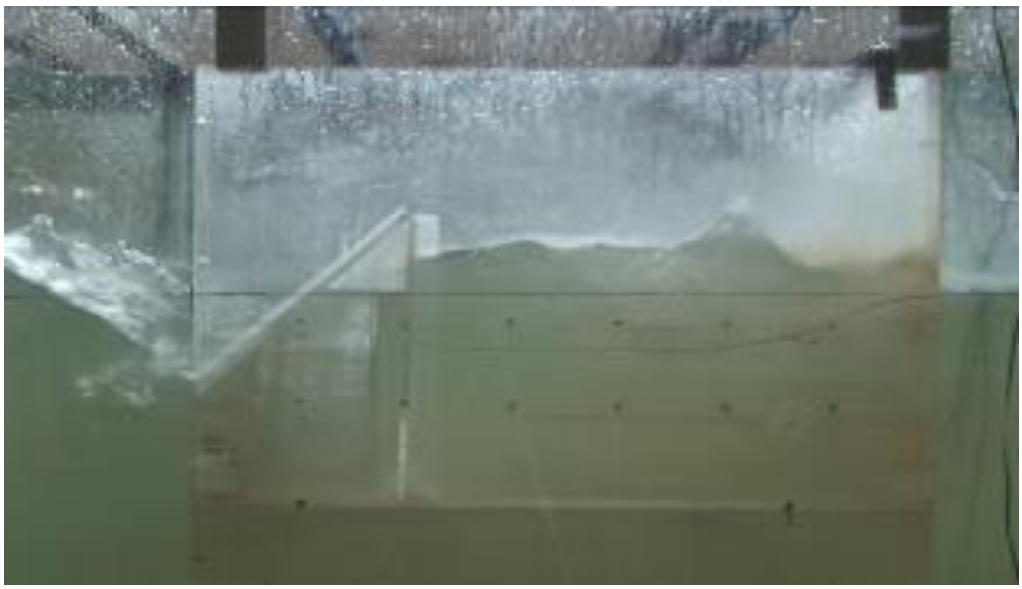


Şekil 5.6 : Sabit yük altında, modelin çıkışında düşey eksendeki akış hızı dağılımı.

5.4.4 Hazne içerisindeki su seviyesinin ölçülmesi

Hazne içerisindeki su seviyesi hem hazne tabanına yerleştirilmiş olan bir basınçölçer hem de hazne içerisine yerleştirilmiş olan bir direnç tipi seviyeölçer kullanılarak zaman serisi şeklinde ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Deney sonuçları üzerinde yapılan ilk değerlendirmelerde basınçölçerin ve seviyeölçerin kaydettikleri değerler arasında yüksek korelasyon olduğu görülmüştür. Eş zamanlı olarak yapılan yüksek

çözünürlüklü (high definition HD) video kayıtları da hazne içerisindeki su yüzü profilini göstermektedir. Şekil 5.7'de örnek bir ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.7 : Deneyler sırasındaki kayıtlardan alınmış örnek ekran görüntüsü.



Şekil 5.8 : Dalga, hız ve basınç verilerini ölçmekte ve kaydetmede kullanılan sistemlerin görünümü.

5.5 Deney Planı ve Yönergesi

Deneysel çalışmalar için seçilen yapı konfigürasyonları ve dalgalar Ek A'daki çizelgede verilen plan doğrultusunda uygulanmıştır.

Deney yönergesi ise şu şekildedir:

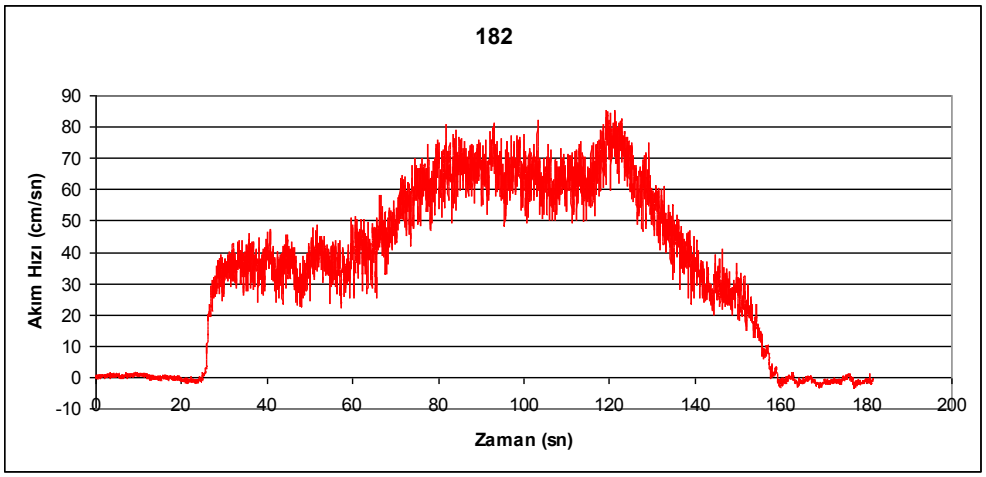
- Tüm deneylerde yapı yerinde sabit tutulmuş, hiçbir şekilde deplasmanına izin verilmemiştir.
- Dalga, Hız ve basınç zaman serisi kayıtları kanaldaki su sakinken başlatılmış, bu sayede dalganın yapıya doğru ilerlemesi ve ilk dalganın yapıya etkimesi de yapılan gözlemlere dahil edilmiştir.
- Dalga, hız ve basınç eşzamanlı olarak; düzenli dalga serilerinde 180 saniye düzensiz dalga serilerinde ise 360 saniye süreyle kaydedilmiştir.
- Deneylerin tamamı tam yapı hizasından video kaydedici ile HD (High Definition) olarak görüntülenmiştir.
- Yapılan her deney için deney kütükleri tutulmuş, kontrollü olarak değiştirilen parametrelerin yanında her deneyde ortaya çıkabilen beklenmeyen durumlar veya farklı etkenler de not edilmiştir.

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Değerlendirmede İzlenen Yöntem

Deneyler sırasında, farklı ölçüm sistemleri tarafından farklı biçimlerde kaydedilmiş olan akım hızı, su yüzeyi ve basınç zaman serileri öncelikle topluca değerlendirme yapılabilmesi ve işleme kolaylığı amacı ile Excel biçimine dönüştürülerek dosyalanmışlardır.

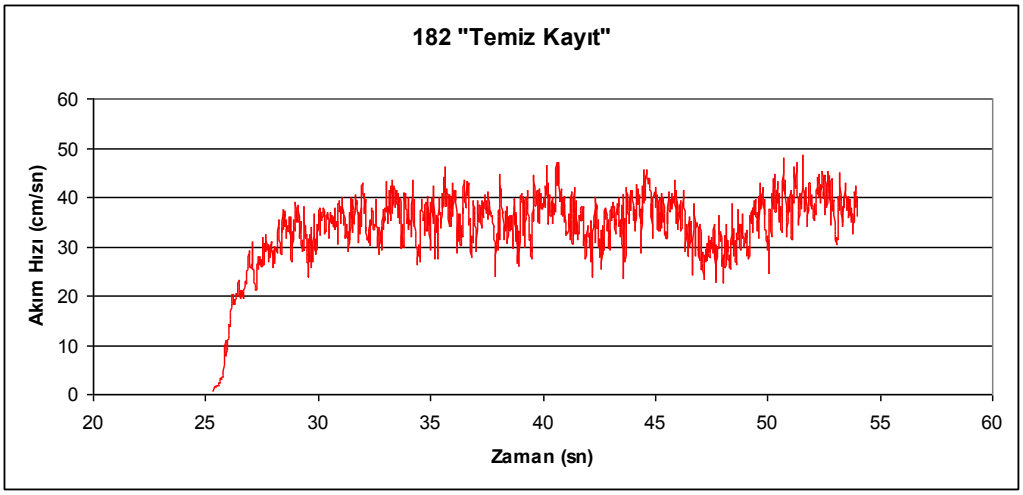
Deneylerde kullanılan model, bir düşey yüzlü kıyı yapısı modeli olduğu için, gelen dalgaların bir kısmının yansımasına neden olmaktadır. Bu yansıma oranı yapı ön yüz kotu ve eğimine bağlı olarak değişmekte ve bir bakıma yapının verimini de gösterebilecek bir parametre haline gelmektedir. Ancak, deneyler sırasında, yapı modelinden yansıyan dalgalar dalga kanalı boyunca geriye doğru giderek tekrar dalga paletine ulaşmakta ve dalga paletinden de yansıyarak yeniden yapı modeline doğru ilerlemektedirler. Bu ikincil dalgalar yapıya ulaştıkları zaman gerçek dalgalarla girişim yapıp aşma debilerini etkilemektedirler. Aşağıda, Şekil 6.1'de 182 numaralı deneyde kaydedilmiş, örnek bir hazneden çıkış hızı-zaman serisi verilmiştir.



Şekil 6.1 : 182 numaralı deneyin hazne çıkışındaki akım hızının zamana bağlı değişimi.

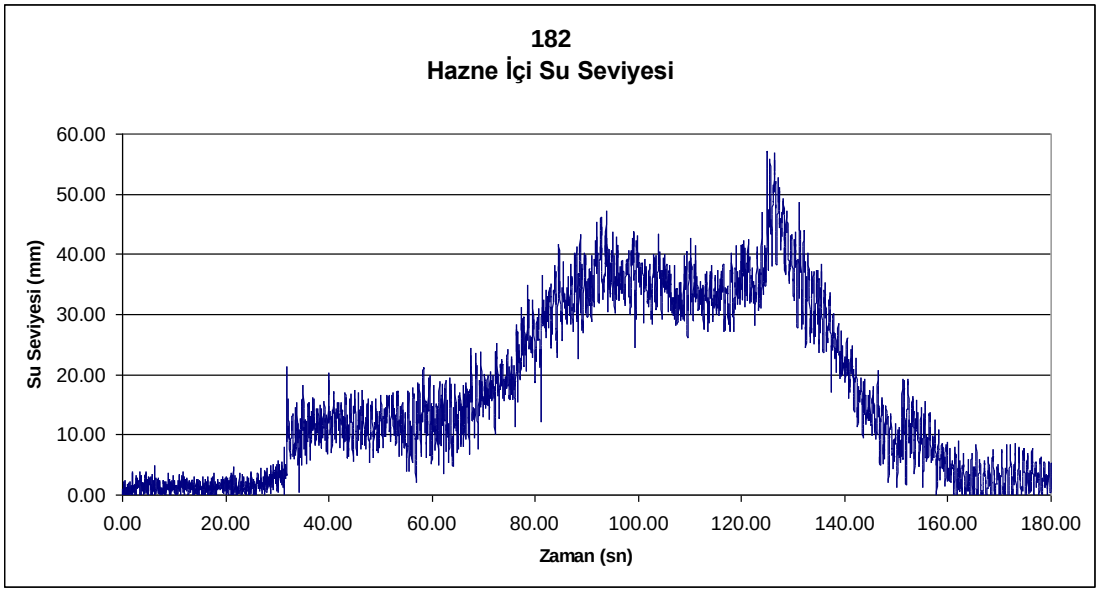
Şekilde görüldüğü üzere, kaydın başlangıç kısımlarında herhangi bir hareket bulunmamaktadır. Yaklaşık olarak 25. saniyeden itibaren, üretilen dalgalar yapıya ulaşmakta ve hazneyi doldurmaya, dolayısı ile de hazne çıkışında bir akım oluşmasına yol açmaktadır. Hazne içerisindeki su seviyesi arttıkça hazneden çıkan su debisi de artmaktadır, belli bir noktadan itibaren de aşma ile hazneye giren su ile hazneden çıkan su debileri eşitlenmekte ve akım hızı belirli bir değerde (yaklaşık 35 cm/sn) sabitlenmektedir. Ancak bir süre sonra, yapıdan yansıyan dalgalar, dalga paletinden de yansıyıp tekrar yapıya ulaştıklarında, mevcut dalgalar ile girişim yapmaktadırlar. Şekilde yaklaşık olarak 60. saniyeden itibaren hazneden çıkan su debisinde bir artış olduğu görülmektedir. Bu artış, bahsi geçen ikincil dalgaların girişimi sonucunda süperpoze olan ve yükseklikleri artan dalgalardan kaynaklanmaktadır.

Bu dalgaların değerlendirmelerde yapılan hesapları etkilememesi için hesaplarda "temiz süre" adı verilen, bu tip ikincil dalgaların yapıya ulaşmadan öncesindeki süre zarfında kaydedilmiş olan verilerin kullanılmasına karar verilmiştir. Her bir deney için, güvenli bir şekilde kullanılabilecek verilerin seçilebilmesi için deneylerin video kayıtları ayrı ayrı incelenmiş, hem dalgaların palet ile yapı arasındaki mesafeyi ne kadar sürede kat ettikleri ölçülmüş, hem de yapıya ulaşan dalgaların durumları gözlenmiştir. Yapılan bu ölçüm ve gözlem sonucuna göre her bir deneyde, ne kadar sürelik verilerin kullanılacağına karar verilmiştir. Aşağıda Şekil 6.2'de 182 numaralı deney için, yansıyan dalgaların etkisinin olmadığı zaman aralığındaki akım hızı zaman serisi örnek olarak verilmiştir. Yapılan tüm deneylerde elde edilen akım hızı zaman serilerinin temiz süreyi temsil eden grafikleri EK B.'de sunulmaktadır.



Şekil 6.2 : 182 numaralı deney için *temiz süre* dâhilindeki akım hızı zaman serisi.

Bu yöntemde, akım hızı zaman serisi, belirli bir t anında kesilmektedir. Akım hızından hesaplanan debi değerleri, bu seçilmiş zaman aralığında borudan geçen, yani hazneden çıkan su miktarının hesabında kullanılmaktadır. Ancak, zaman serisinin kesildiği noktada, hazne içerisinde halen depolanmış halde su bulunmaktadır. Bu nedenle, aşma debisinin belirlenmesi için zaman serisinin kesildiği anda haznede depolanmış durumda bulunan su miktarının da bilinmesi gerekmektedir. Önceki bölümlerde de açıklandığı üzere, deneyler sırasında, hazne içerisinde hem basınç ölçer ile, hem de seviye ölçer ile su seviyesi zaman serileri kaydedilmiştir. Aşağıda Şekil 6.3'te, 182 numaralı deney için, hazne içerisine yerleştirilmiş olan basınç sensöründen elde edilen basınç zaman serisi grafiği örnek olarak verilmiştir. Tüm deneylerde basınç sensörleri ile kaydedilen basınç-zaman serisi grafikleri de Ek C'de verilmiştir.



Şekil 6.3 : 182 numaralı deney için hazne içersindeki su seviyesinin zaman bağlı değişimi.

Ayrıca, her ön yüz konfigürasyonu için hazne genişlikleri dikkatli bir şekilde ölçülüp kayıt altına alınmıştır. Hazne genişlikleri ve kaydedilmiş olan su seviyesi zaman serileri kullanılarak, deney süresince istenilen bir t anında haznede bulunan su miktarı hesaplanabilmektedir. Bu bilgiler ışığında, her bir deneydeki ortalama aşma debisi $\overline{Q}$ hesaplanmaktadır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi için, temel tasarım paramatreleri olan aşma debisi ve kret kotları için boyutsuz değişkenler kullanılmıştır. Bunlardan ilki, Boyutsuz Aşma Debisi Q_{ND} şu şekilde tanımlanmaktadır (Cruz, 2008);

$$Q_{ND} = \frac{\overline{Q}}{b\sqrt{g \cdot H_s^{\,3}}} \qquad \textbf{(6.1)}$$

Burada;

Q_{ND} :Boyutsuz Aşma Debisi

$\overline{Q}$:Ortalama aşma debisi (m^3/sn)

B :Yapı genişliği (m)

G :Yerçekimi ivmesi (m/sn^2)

H_s :Belirgin Dalga Yüksekliği (m) ni göstermektedir.

Değerlendirmelerde kullanılacak olan diğer boyutsuz değişkenler ise Bağıl kret kotu R;

$$R = \frac{h_c}{H_s} \qquad \textbf{(6.2)}$$

Ve Bağıl ön yüz kotu R_f ;

$$R_f = \frac{h_f}{H_s} \qquad \textbf{(6.3)}$$

Şeklinde ifade edilmektedir.

Burada

H_c :Yapının kret kotunu (m)

H_f :yapının ön yüz kotunu (m)

H_s :Belirgin dalga yüksekliğini (m) göstermektedir.

Ayrıca, yapının sağlayacağı hidroelektrik güç çıkışını temsil etmesi amacıyla, her bir deney için bağıl kret kotu ve boyutsuz aşma debileri kullanılarak boyutsuz güç parametreleri de hesaplanmaktadır.

Deneylerin değerlendirilmesinde, tüm deneyler için aşma debileri hesaplandıktan sonra, bu boyutsuz değişkenler de hesaplanarak, farklı ön yüz konfigürasyonlarının, farklı dalga etkileri altındaki performansları irdelenmektedir.

Çizelge 6.1'de örnek bir sonuç çizelgesi verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Değerlendirilen deneylerde elde edilen örnek sonuçlar.

Deney No	Ön Yüz Eğimi	Bağıl Kret Kotu	Bağıl Önyüz Kotu	Boyutsuz Aşma Debisi	Boyutsuz Güç Parametresi
110	0,577	0,776	0,000	0,089	0,069
111	0,577	0,698	0,000	0,108	0,076
112	0,577	0,608	0,000	0,094	0,057
113	0,577	0,776	0,000	0,129	0,100
114	0,577	0,677	0,000	0,113	0,076
120	0,700	0,776	0,000	0,092	0,071
121	0,700	0,698	0,000	0,119	0,083
122	0,700	0,608	0,000	0,076	0,046
123	0,700	0,776	0,000	0,093	0,072
124	0,700	0,677	0,000	0,072	0,048
130	0,839	0,776	0,000	0,098	0,076
131	0,839	0,698	0,000	0,094	0,065
132	0,839	0,608	0,000	0,088	0,054
133	0,839	0,776	0,000	0,110	0,085
134	0,839	0,677	0,000	0,078	0,053
230	1,000	1,207	0,000	0,045	0,055
231	1,000	1,085	0,000	0,051	0,055
232	1,000	0,946	0,000	0,043	0,041
233	1,000	1,207	0,000	0,042	0,051
234	1,000	1,053	0,000	0,032	0,034
250	0,466	0,776	-0,862	0,095	0,073
251	0,466	0,698	-0,775	0,135	0,094
252	0,466	0,608	-0,676	0,114	0,069
253	0,466	0,776	-0,862	0,168	0,130
254	0,466	0,677	-0,752	0,136	0,092
270	0,577	1,207	-0,431	0,029	0,035
271	0,577	1,085	-0,388	0,053	0,057
272	0,577	0,946	-0,338	0,046	0,043
273	0,577	1,207	-0,431	0,063	0,076
274	0,577	1,053	-0,376	0,052	0,054

Ayrıca, farklı konfigürasyonların farklı dalga özellikleri karşısındaki performanslarının bağıl olarak değerlendirilebilmesi amacıyla boyutsuz bir "dalga gücü dönüşüm oranı" katsayısı hesaplanmıştır. Bu katsayı hesaplanırken temel felsefe belirli bir zaman aralığında yapıya gelen dalgaların ortalama güçlerinin hesaplanması, ve aynı zaman dilimi içerisinde sistemin çıkışında sağlanan debi ve hazne içerisindeki su seviyesi kullanılarak elde edilen hidroelektrik gücün (türbin veriminden bağımsız olarak) hesaplanması ve çıkışta elde edilen güç ile giriş gücünün oranlanmasına dayanmaktadır. Bu hesaplama adımları aşağıda verilmiştir.

Küçük genlikli dalga teorisine göre, birim alana gelen sinüzoidal dalgalar tarafından iletilen enerji ise;

$$E=\frac{1}{8}\rho \cdot g \cdot H^2 \qquad \textbf{(6.4)}$$

olup burada H dalga yüksekliği, ρ deniz suyunun yoğunluğu ve g yerçekimi ivmesidir. (Kabdaşlı, S., 1992). Sinüzoidal olmayan dalga durumunda ise dalga enerji spektrumundan bulunan anlamlı dalga yüksekliği kullanılmaktadır.

Yukarıdaki ifadenin C_g dalga yayılma hızı ile çarpılması ile de birim genişliğe karşı gelen dalga gücü bulunmuş olur. (Uygur,I, vd. , 2004)

$$P=\frac{1}{8}\rho g H^2 \cdot C_g \qquad \textbf{(6.5)}$$

Açıkdeniz koşullarında dalga yayılma hızı ve dalga boyu aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir:

$$C_g = \frac{C}{2} \qquad \textbf{(6.6)}$$

$$C = \frac{L}{T} \qquad \textbf{(6.7)}$$

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \qquad \textbf{(6.8)}$$

Buna göre birim genişlikteki dalga gücü ifadesi yeniden düzenlenir ise aşağıdaki ifade elde edilecektir:

$$J(W/m) = \frac{1}{32\pi}\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T \qquad \textbf{(6.9)}$$

Bu ifade, yapı genişliği (B) ile çarpılarak yapıya ulaşan dalgaların güçleri hesaplanabilmektedir:

$$P_{giriş}(W) = \frac{1}{32\pi}\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T \cdot B \qquad \textbf{(6.10)}$$

Yapı çıkışındaki hidroelektrik güç ise şu şekilde ifade edilmektedir:

$$P_ç(W) = \rho \cdot g \cdot H_h \cdot Q \cdot \eta \qquad \textbf{(6.11)}$$

Burada H_h haznedeki su seviyesi ile sakin su seviyesi arasındaki fark, ρ deniz suyunun yoğunluğu, g yerçekimi ivmesi, Q hazneden çıkan debi ve η türbin verimidir.

Türbin teknolojisi sürekli olarak değişim gösterdiği için ve tesiste farklı tipte türbinlerin kullanılması olası olduğu için buradaki hesaplamalarda türbin verimliliği 1 kabul edilerek hesaplamaların dışında tutulmuştur.

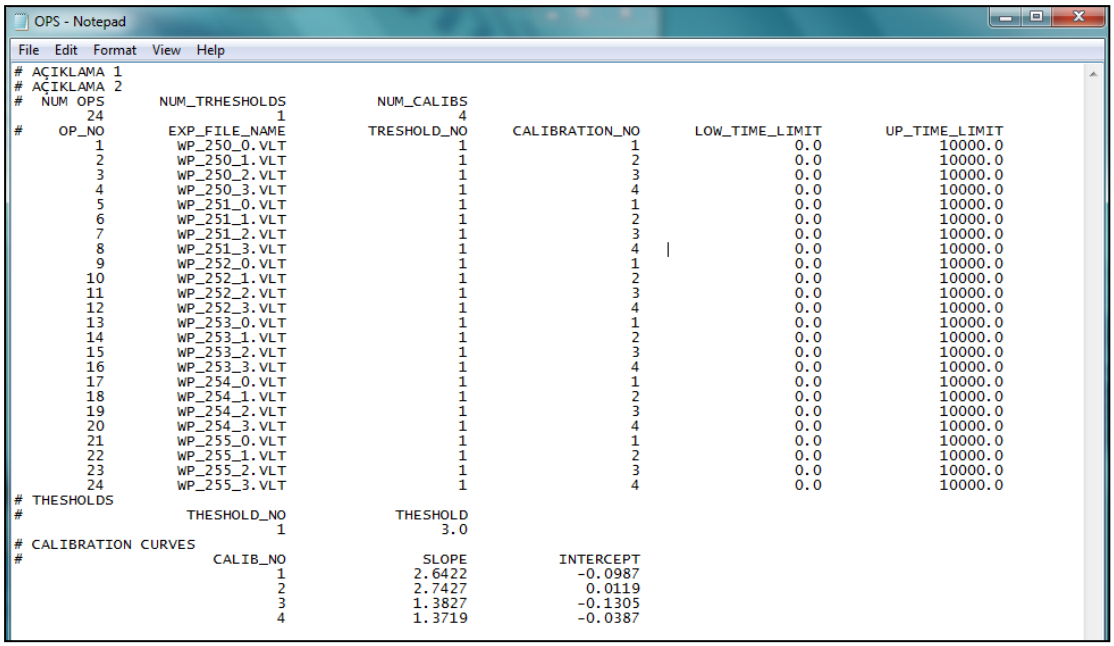
Boyutsuz güç dönüştürme oranı P_n ise yukardaki ifade edilen çıkış ve giriş güçlerinin oranlanması ile elde edilmiştir.

$$P_n = \frac{\rho \cdot g \cdot H_h \cdot Q \cdot \eta}{\frac{1}{32\pi}\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T \cdot B} \qquad \textbf{(6.12)}$$

Yapıya gelen dalgaların güçlerinin hesaplanabilmesi için, deney sonuçlarında elde edilen su seviyesi zaman serilerinden istenilen bir zaman aralığındaki dalgaların çıkartılması gerekmektedir. Elde mevcut olan veri analiz programları ile bu tarz bir analizin, çok sayıda deney için pratik olarak yapılması mümkün olmadığı için yeni bir dalga analiz programı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyacı gidermek amacıyla, bu çalışmada ihtiyaç duyulan özelliklere odaklanmış, aynı zamanda ilerde bu tür deneysel çalışmalarda ihtiyaç duyulabilecek diğer özellikler için de esnek bir yapıya sahip olan "visual fortran" tabanlı yeni bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bu yeni program ile, işlemleri yöneten basit bir metin dosyası hazırlanarak deneyler sırasında kaydedilmiş olan .vlt uzantılı voltaj değerleri dosyaları toplu olarak değerlendirilebilmekte, her bir deney için belirli bir zaman aralığındaki (başlangıç ve bitiş süreleri girilerek) deney kaydının analizi yapılabilmektedir. Analiz süresindeki su seviyesi değişimleri sıfırı kesme yöntemi ile dalga verisine dönüştürülmekte ve hem dalgaların yükseklik ve periyodları tekil olarak listelenmekte hem de bu dalga parametreleri istenilen istatistiki analizi yapılabilmektedir.

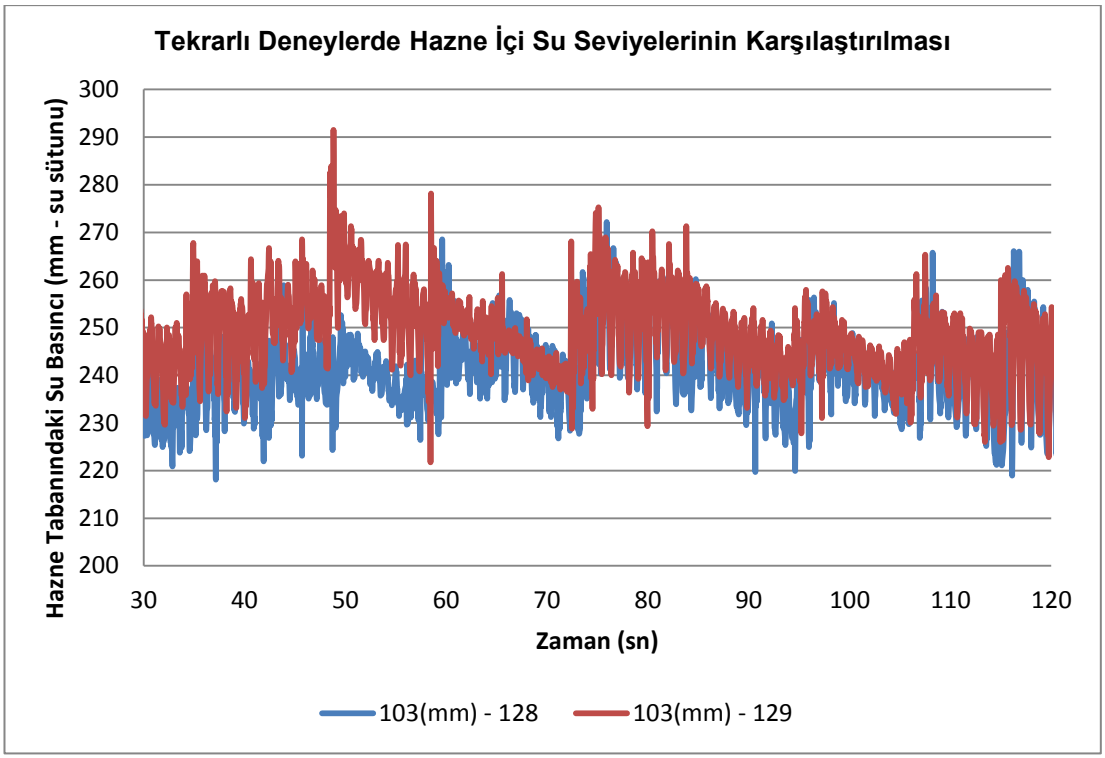
Aşağıda Şekil 6.4'te programı kontrol eden metin dosyasından bir örnek ekran görüntüsü verilmiştir.



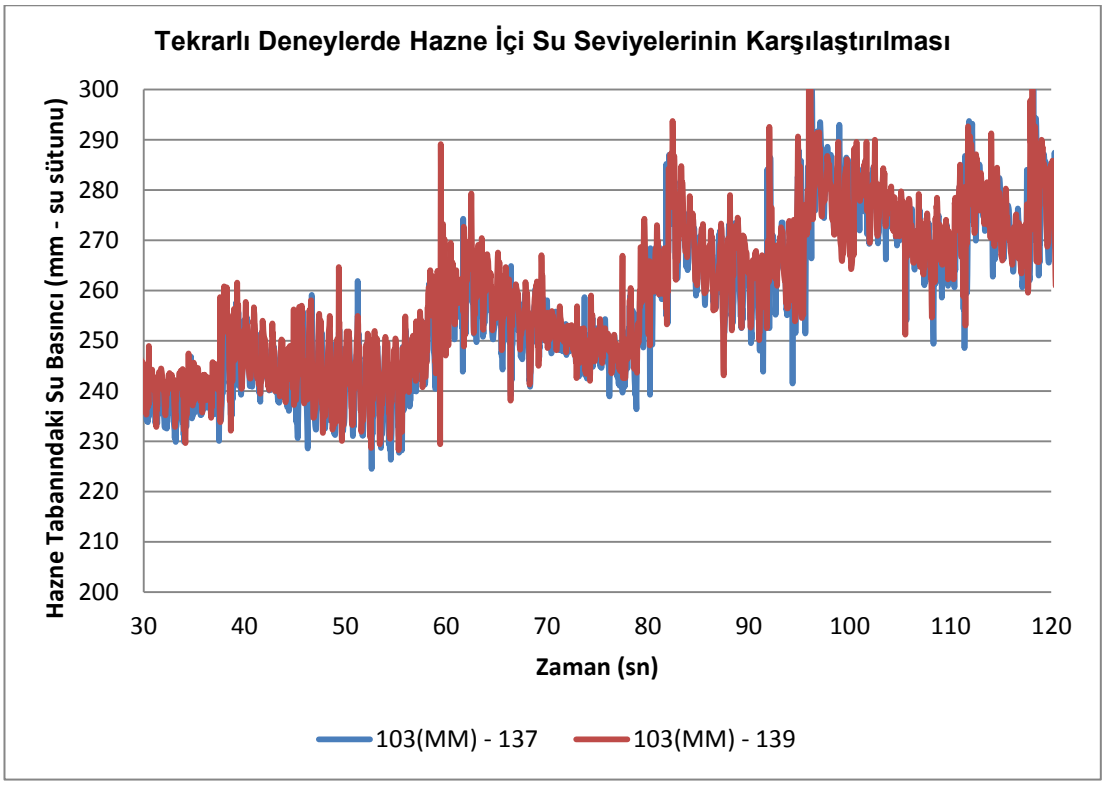
Şekil 6.4 : Dalga analiz programı kontrol dosyası örnek görünümü.

Deneysel çalışma süresince bazı deneyler tekrarlı oalcak şekilde yürütülmüştür. Bu tekrarlı deneylerde, konfigürasyon veya dalga özellikleri değiştirilmeden, aynı sensörlerin kaydettiği veriler kullanılarak deneylerin tekrarlanabilirliği incelenmiştir. Bu tekrarlanmış olan deneylere örnek olarak aşağıda Şekil 6.5 ve 6.6'da 128-129 ve 137-139 deney çiftlerinde, basınç sensörü tarafından ölçülen hazne içi su seviyesi (hazne tabanındaki su basıncı) sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Şekil 6.5 ve 6.6 incelendiğinde, özellikle 137-139 numaralı tekrarlı deneylerde oluşan hazne içi su seviyelerinin zamana bağlı değişiminin çok büyük paralellik gösterdiği görülmektedir. 128-129 numaralı tekrarlı deney çiftinde ise zamanın büyük çoğunluğunda seviye ölçümlerin birbirine çok yakın olduğu, ancak haznenin ilk dolum anında farklılık olduğu görülmektedir. Bu farklılığın, dalga üretecinin palet sisteminde zaman zaman oluşan ve dalga serisinde rastgele olarak tekil atımlarda gözlenen kaçmalar görülen sekmelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu tür tekil dalgalarda farklılıklar görülmekle birlikte, bu farklılıkların etkisinin zamansal olarak düşük yüzdeye sahip olmalarından dolayı deney sonuçlarında önemli hatalara yol açması beklenmemektedir.



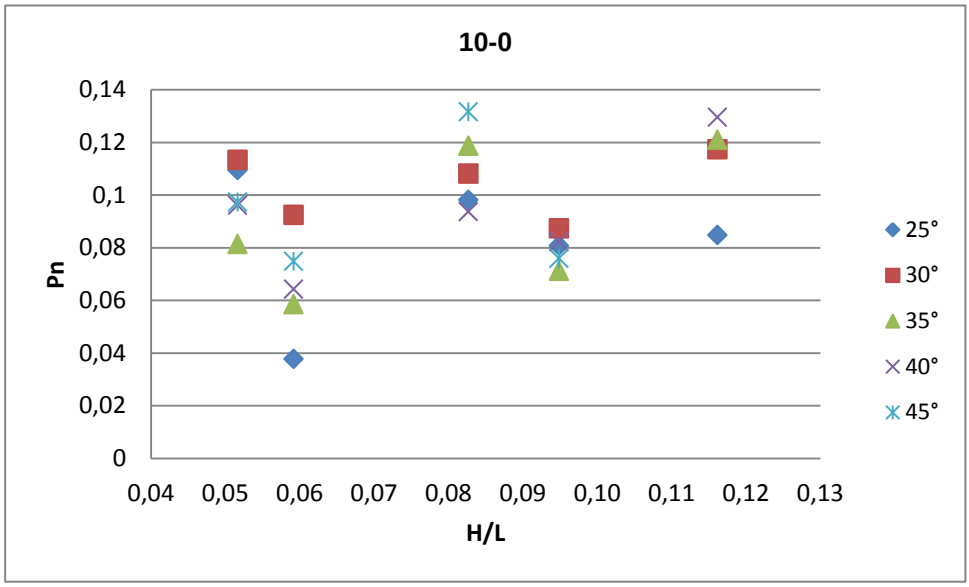
Şekil 6.5 : 128-129 numaralı tekrarlı deneylerde su seviyelerinin karşılaştırılması.



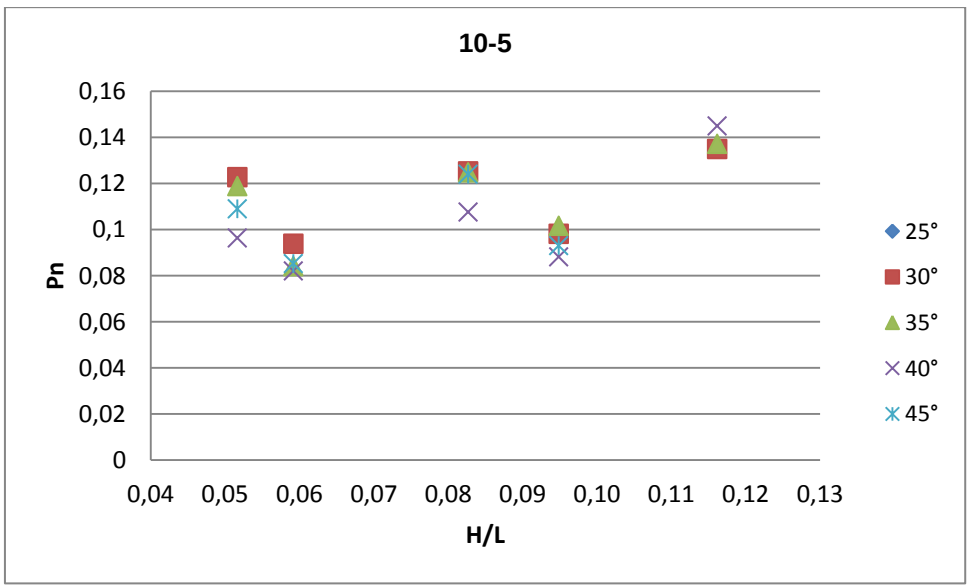
Şekil 6.6 : 137-139 numaralı tekrarlı deneylerde su seviyelerinin karşılaştırılması.

6.2 Düzenli Dalgalar Kullanılan Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

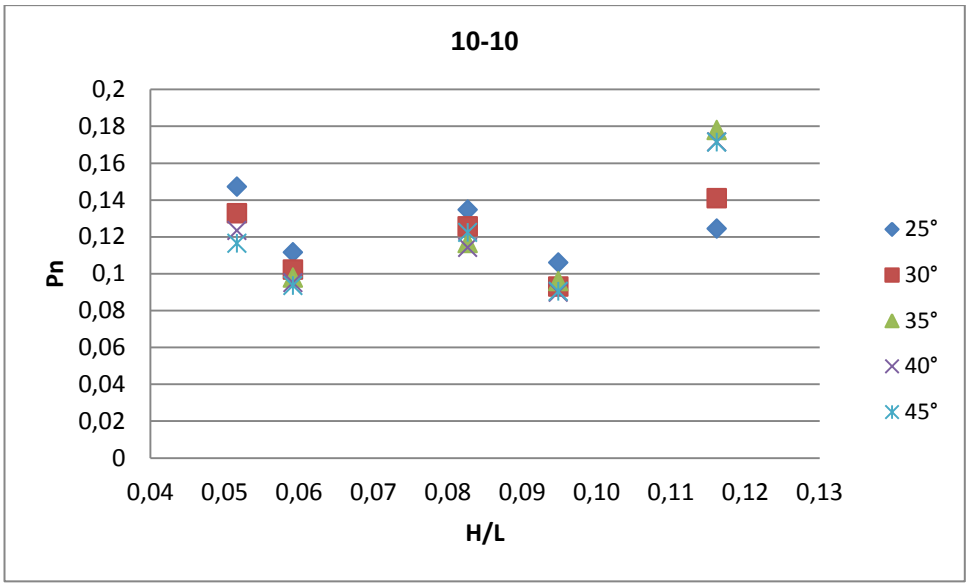
Yukarıda açıklandığı üzere boyutsuz güç dönüşüm parametreleri hesaplanan düzenli dalga kullanılan deney sonuçları, farklı ön yüz konfigurasyonları için ayrı ayrı incelenmiştir. İnceleme grafiklerinden örnekler aşağıdaki Şekil 6.7~6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.7 : Kret kotu 10cm ön yüz kotu 0cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi.



Şekil 6.8 : Kret kotu 10cm ön yüz kotu -5cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi.



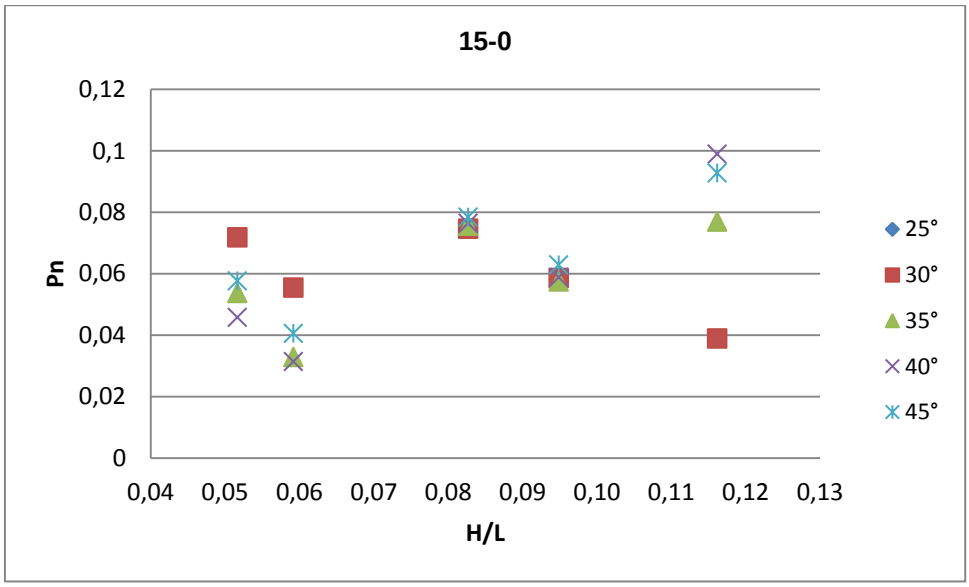
Şekil 6.9 : Kret kotu 10cm ön yüz kotu -10cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi.

Şekil 6.7~6.9 incelendiğinde, yapı ön yüz kotunun sistemin enerji dönüşüm verimi üzerinde önemli etkisi olduğu görülmektedir. Sistemin ön yüz kotu derinleştikçe dalga aşma debisi ve buna bağlı olarak enerji dönüştürme verimi de artmaktadır. Bunun temel nedeni, eğimli yüzeyin başladığı noktanın derine doğru gitmesi ile yapıya gelen dalganın daha büyük bir kısmının düşey yüzden etkilenmeyerek tırmanmaya geçebilmesi olarak görülmektedir. Ayrıca yapının ön yüz kotundan bağımsız olarak, yapının uzun dalgalarda kısa dalgalara oranla daha verimli çalıştığını söylemek mümkündür.

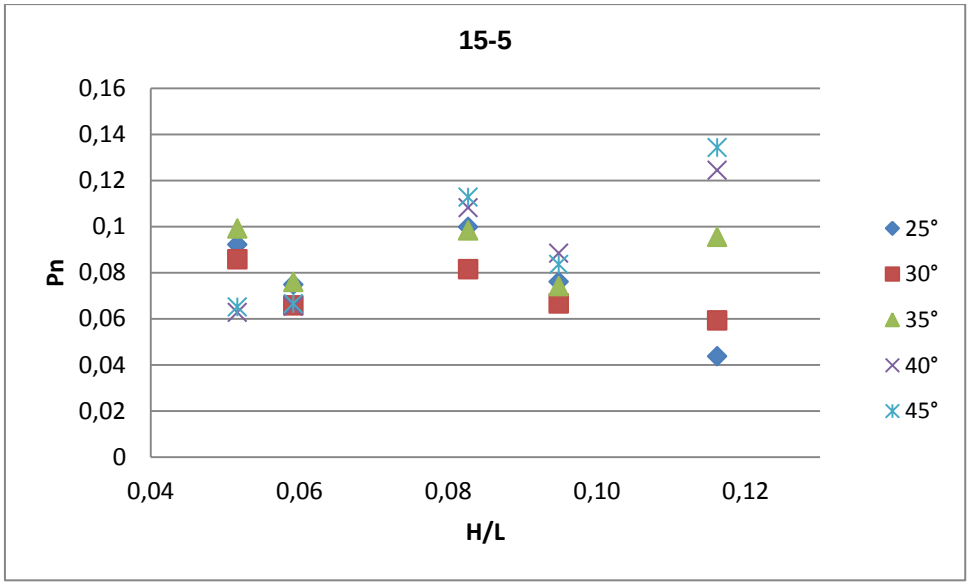
Ön yüz eğimi ise dalga dikliğine bağlı olarak dönüşüm verimini etkilemektedir. Uzun dalgalarda dik eğimli ön yüzlerde verimin düştüğü buna karşılık olarak nispeten daha yatık eğimli ön yüz konfigürasyonlarında verimin arttığı gözlenmektedir. Bu bulgunun aksine, kısa ve dik dalgalarda (Kırılma bölgesine yaklaştıkça) ön yüz eğiminin artması dönüşüm verimliliğini de arttırmaktadır.

Daha yüksek kret kotlu yapıların modellendiği deney sonuçlarının sunuşduğu şekil 6.10 ve 6.11'de ise kret kotunun yükselmesinin sistemin performansı üzerindeki olumsuz etkisi açık bir şekilde görülmektedir. Bağıl kret kotlarının 0,7 den yaklaşık 1,2 değerine yükselmesiyle birlikte elde edilen en yüksek en yüksek dönüşüm verimi 0,1 değerine kadar gerilemektedir. Ayrıca şekillerde ön yüz kotunun etkisi de görülmektedir, ön yüz kotunun derinleştirilmesi sonucunda dönüşüm verimliliğinde artış olduğu görülmektedir. Şekil 6.7~6.9'da görüldüğü gibi ön yüz kotunun verim

üzerindeki etkisi bağıl ön yüz kotunun -1 veya daha küçük değerlerde olması halinde belirgin olmaktadır. Bunun nedeni, bağıl ön yüz kotunun -1 olması halinde eğimli ön yüzün başladığı derinliğin en az dalga yüksekliği kadar suyun altında olması, böylece gelen dalganın yapının düşey yüzlü kısmından daha az etkilenerek yapısının bozulmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.10: Kret kotu 15cm ön yüz kotu 0cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi.



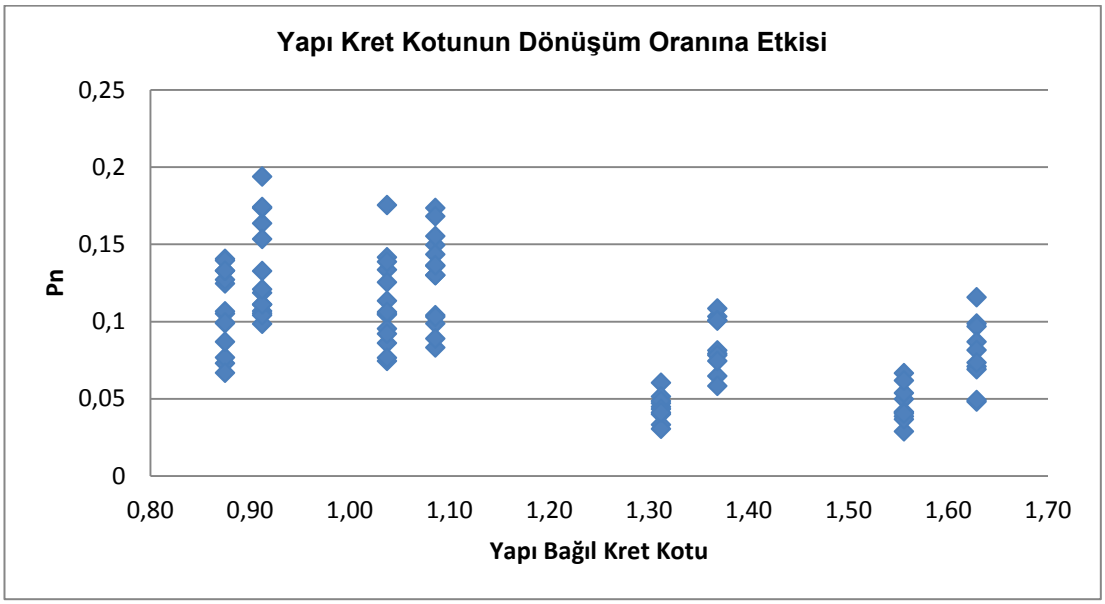
Şekil 6.11: Kret kotu 15cm ön yüz kotu -5cm konfigürasyonu için elde edilen P_n değerlerinin dalga dikliğine ve ön yüz açısına göre değişimi.

6.3 Düzensiz Dalgalar Kullanılan Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

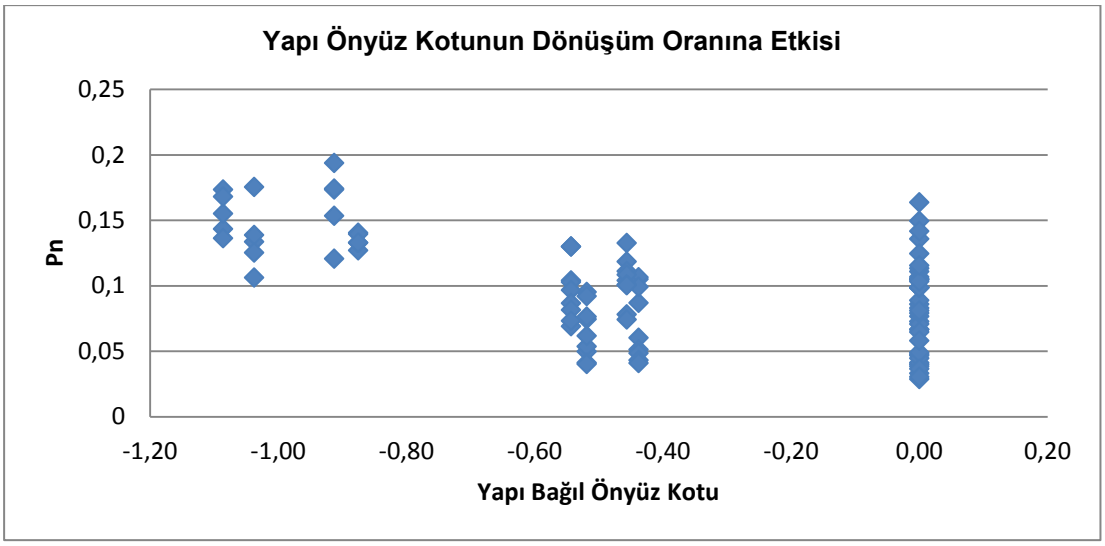
Düzensiz dalgalar ile yapılan deneylerin değerlendirilmesinde de düzenli dalgalarda olduğu gibi boyutsuz güç dönüşüm oranı parametresi temel parametre olarak kullanılmıştır. Ancak bu parametrenin hesaplanmasında, yapıya gelen dalgaların gücü belirlenirken 2. bölümde verilmiş olan 2.8 ifadesi kullanılmıştır. Bahsi geçen ifadede yer alan k katsayısı için de, ilgili bölümde açıklandığı üzere, 420 W/s.m^3 kullanılmıştır.

Deney sonuçlarında, yapı ön yüz ve kret kotlarının dönüşüm oranı üzerinde en büyük etkiye sahip oldukları görülmüştür. Düzenli dalgalarla yapılan deneylerde de aynı şekilde ortaya konmuş olan bu durum sonucunda kret kotunun artmasının dönüşüm verimine olumsuz yönde etki yaptığı, bununla birlikte ön yüz kotunun derinleştikçe dönüşüm verimini arttırdığı görülmüştür. Aşağıda Şekil 6.12~6.14'te ön yüz konfigürasyonundaki değişikliklerin dönüşüm verimi üzerindeki etkileri gösterilmektedir.

Şekil 6.12'de yapının kret kotunun etkisi görülmektedir, bağıl kret kotu arttıkça dönüşüm oranı da düşmektedir.



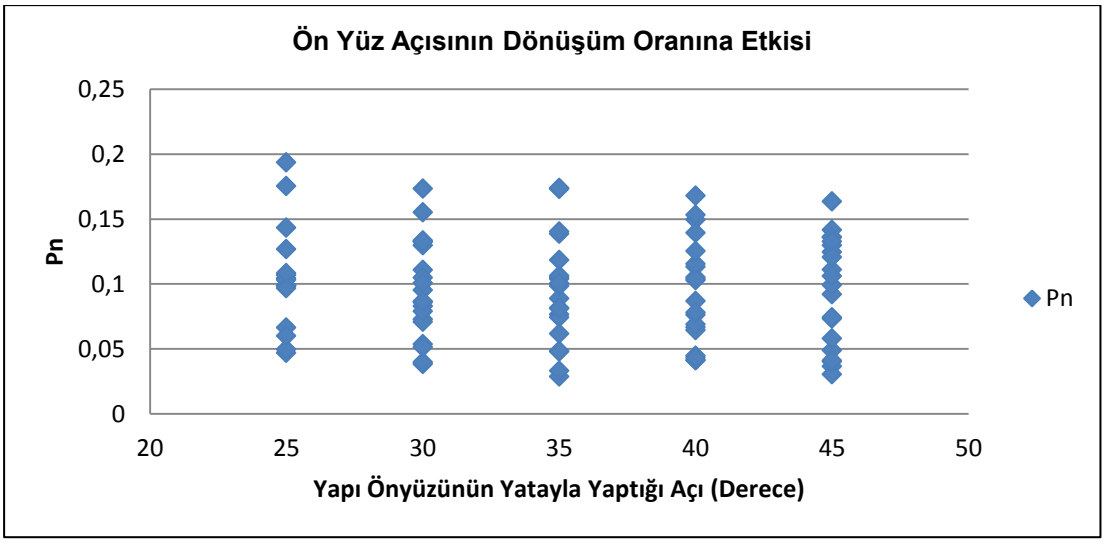
Şekil 6.12: Yapının bağıl kret kotu ile P_n arasındaki ilişki.



Şekil 6.13 : Yapının bağıl önyüz kotu ile P_n arasındaki ilişki.

Şekil 6.13 ise önyüz kotunun dönüşüm oranına etkisini ortaya koymaktadır. Düzenli dalgaların sonuçlarında açıklandığı üzere, yapının bağıl önyüz kotu derinleştikçe (küçüldükçe) gelen dalga yapının düşey yüzlü kısmından daha az etkilenmekte, buna bağlı olarak tırmanma ve aşma miktarı artmaktadır.

Şekil 6.14 incelendiğinde ise yapının ön yüzünün eğiminin (açısının) kret kotu ve önyüz kotuna nazaran daha az etkisi olduğu görülmektedir. Ancak ön yüz eğiminin etkisi gelen dalga dikliğine bağlı olarak önemli değişim göstermektedir.



Şekil 6.14 : Yapının önyüz açısı ile P_n arasındaki ilişki.

Düzensiz dalgalarla yapılan deneylerde elde edilen dönüşüm oranları yapının önyüz ve kret kotlarına göre gruplandırılarak, farklı dalga özellikleri ile elde edilen

sonuçların minimum, maksimum ve ortalama değerleri hesaplanıp aşağıda Çizelge 6.2'de sunulmuştur.

Çizelge 6.2 Yapının önyüz ve kret kotlarına göre elde edilen dönüşüm oranları.

Ön yüz konfigürasyonu	Maksimum dönüşüm verimi (%)	Ortalama Dönüşüm Verimi (%)	Minimum Dönüşüm Verimi (%)
Kret Kotu 10 Ön Yüz kotu 0	16,35	10,65	6,65
Kret Kotu 10 Ön Yüz kotu -5	13,26	10,42	7,43
Kret Kotu 10 Ön Yüz kotu -10	19,38	14,64	10,61
Kret Kotu 15 Ön Yüz kotu 0	11,3	5,85	2,86
Kret Kotu 15 Ön Yüz kotu -5	10,83	6,55	2,05

Çizelge 6.2'de görülen değerler, yukarıda açıklanmış olan, dönüşüm verimliliğinin yapının önyüz ve kret kotlarına olan bağımlılığını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, yapılmış olan deneysel çalışmaların ışığında, bu doktora tez çalışmasında tasarımı hedeflenmiş olan dalga enerjisi dönüşümü sağlayacak bir dalgakıranın verimliliğin arttırılması için aşağıda özetlenen temel kriterlere ulaşılmıştır:

- Yapının kret kotu, enerji dönüştürme verimi üzerinde büyük öneme sahiptir. Kret kotu aynı zamanda yapı haznesinde biriktirilecek olan suyun ulaşabileceği en yüksek seviyeyi gösterdiği için bu değer belirlenirken halihazırdaki türbin teknolojisi dikkate alınmalıdır. Türbin teknolojisinin izin verdiği minimum düşü yüksekliğini sağlayacak şekilde belirlenen minimum kret kotu ulaşılabilecek en yüksek verimliliği sağlayacaktır.
- Yapının önyüz kotu da dönüşüm verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yapıya gelen dalgaların hareketi (kinetik enerjisi) yapının düşey yüzlü kısmından etkilenmekte, ve enerji kaybedilmektedir. Bu nedenle yapının ön yüz kotu ne kadar derinde olursa dalgaları da o kadar az etkilemekte ve dönüşüm verimi artmaktadır. Ancak ön yüz kotu derinleştikçe yapının genişliği de artmak zorunda olduğundan hem alan kaybı hem de yapısal maliyet artışı sorunları söz konusu olabilecektir. Yapı ön yüz kotu

belirlenirken yapıya gelecek dalga yüksekliği dikkate alınmalı ve ön yüz kotu en azından dalga yüksekliği kadar su seviyesinin altında olmalıdır.

- Yapı kret ve önyüz kotlarına nazaran daha az öneme sahip olsa da yapının ön yüzünün eğimi de özellikle gelen dalga dikliğine bağlı olarak dönüşüm verimliliğini etkilemektedir. Ön yüz eğimi azaldıkça uzun dalgalarda verim artmaktayken, kısa dalgalarda daha yüksek verim almak için ön yüzün eğiminin de arttırılması gerekmektedir. Bu nedenle, yapının planlandığı bölgedeki dalga iklimi dikkatli bir şekilde incelenerek, yapıya olabilecek en yüksek enerjiyi taşıyacak olan dalga grupları belirlenip tasarım bu dalgalara odaklı olacak şekilde yapılmalıdır.

7. SİSTEMİN KUMKÖY (KİLYOS) KIYISINDA UYGULANMASININ İRDELENMESİ

Çalışmanın bu aşamasında, önceki bölümlerde yapılmış olan sayısal hesaplamalar ve fiziksel modellemeler sonucunda elde edilen sonuçların ışığında, uygun bir bölge seçilip bir ön tasarım ortaya konularak gerçek dalga koşullarında sistemin çalışması, ve elektrik üretim potansiyeli irdelenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında ortaya konulması amaçlanan dalga enerjisi dönüştürücüsü, aslen bir kıyı koruma yapısı ihtiyacı olan bir bölgede, konvansiyonel bir dalgakırana alternatif olarak düşünülmektedir. Bu bağlamda, halihazırda yapılması planlanan bir liman veya yat limanı, dolgu alanı koruması vb. projeler değerlendirilmiştir.

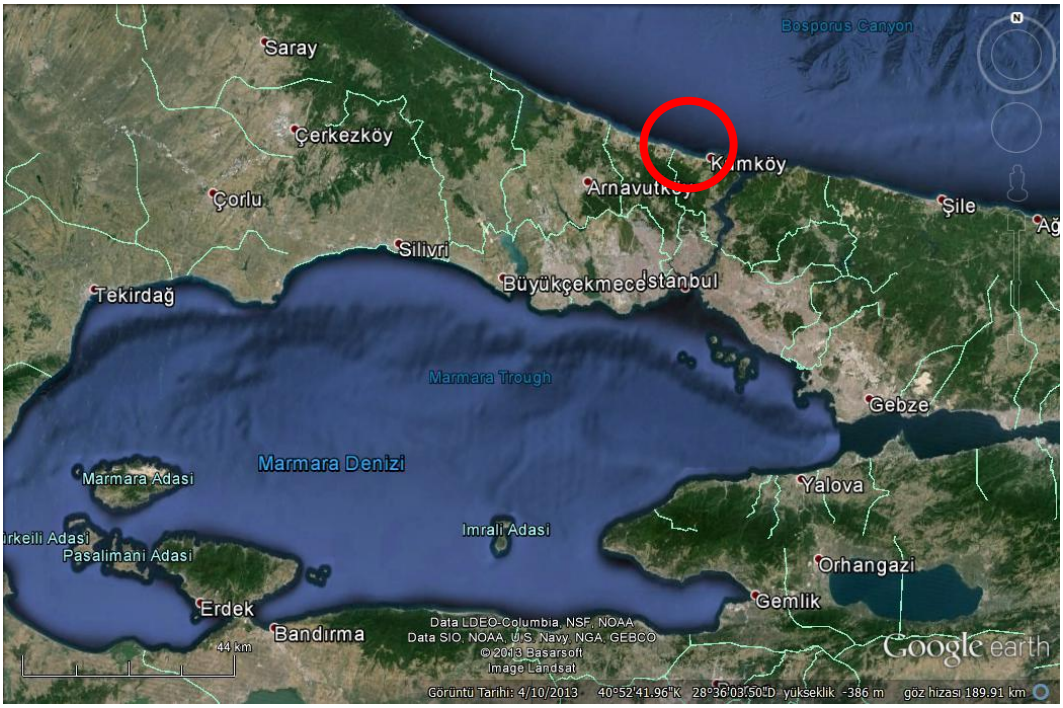
Bölümde açıklanmış olan, Türkiye Kıyılarındaki dalga enerjisi potansiyelinin belirlendiği çalışmada, Kumköy (Kilyos/İstanbul) kıyılarının diğer bölgelere nazaran daha yüksek enerji potansiyeline sahip olduğu ortaya konduğundan, bu bölgede yapılması planlanan bir yat limanı örnek olarak ele alınmıştır. Aşağıda bahsi geçen liman ile ilgili bilgiler sunulmaktadır.

7.1 Coğrafi Konum

Bu çalışmada ele alınan liman bölgesi, İstanbul ili Karadeniz sahilinde Kilyos ve Karaburun arasında yer almaktadır (Şekil 7.1~7.3). İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişinin yaklaşık 35 km batısında ve Karaburun'un 5 km güney doğusunda bulunan bölge, konumu itibarı ile WNW (Batı Kuzey Batı) ~ E (Doğu) yön bandından dalga etkisine açıktır.



Şekil 7.1 : Liman bölgesinin genel coğrafi konumu (Url-6).



Şekil 7.2 : Liman bölgesinin coğrafi konumu (Url-6).



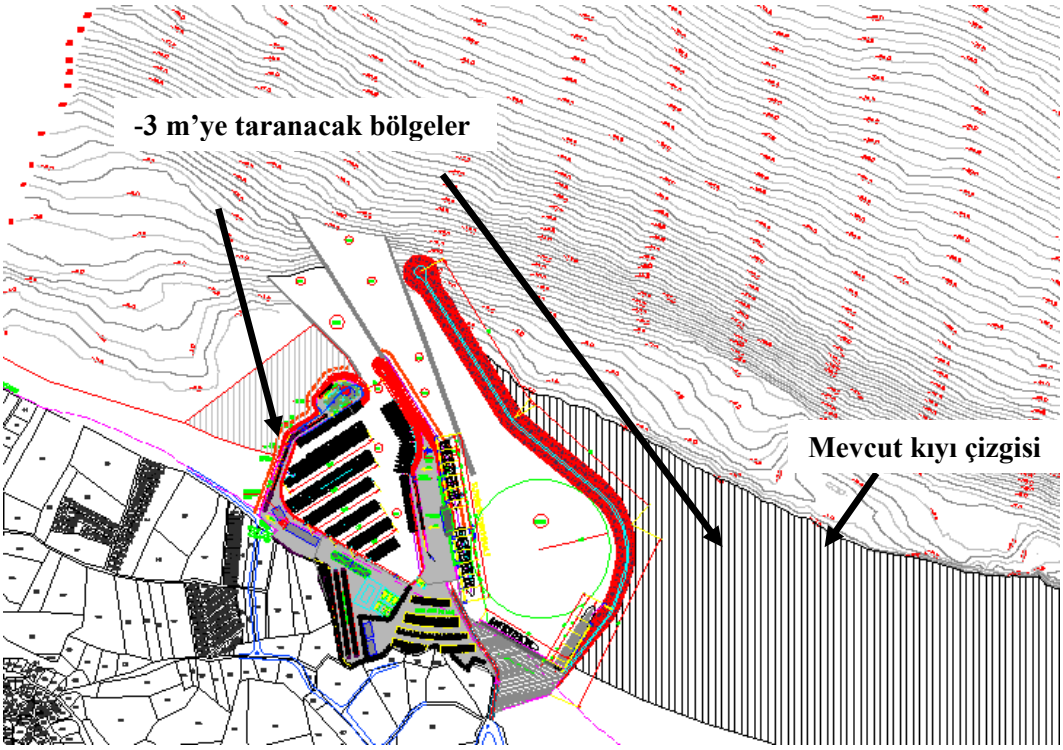
Şekil 7.3 : Liman sahasının 2008 yılına ait uydu görüntüsü (Url-6).

7.2 Genel Yerleşim ve Batimetri

Liman sahasındaki halihazır durum incelendiğinde, doğal kıyı çizgisinin bölgede günümüze kadar yürütülmüş olan madencilik faaliyetleri sebebi ile yaklaşık olarak 500~550 m denize doğru ötelenmiş olduğu görülmektedir (Şekil 2.4). Proje kapsamında mevcut kıyı çizgisinin doğal haline getirilmesi amacı ile proje sahasında ve çevresinde kazı/tarama yapılması planlanmaktadır. Projede bir yat limanı ve bu yat limanının Doğu tarafına turistik amaçlı Kruvaziyer gemileri ile Ro-Ro gemilerine hizmet vermesi amaçlanan bir liman inşa edilecektir.

Şekil 7.4'te genel yerleşim planı verilen limanın ana dalgakıranı toplam 1500 m olacak şekilde planlanmıştır. Basen içerisinde Kruvaziyer gemiler için toplam 3 adet yanaşma yeri, Ro-Ro gemileri için ise bir adet Ro-Ro rampası tahsis edilmiştir.

Proje bölgesindeki batimetri incelendiğinde, eş-derinlik eğrilerinin düzgün ve paralel bir yapıya sahip oldukları ve ortalama 1/40 mertebesinde bir taban eğiminin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7.4 : Limanın genel yerleşimi, proje bölgesine ait batimetri ve mevcut kıyı çizgisi.

7.3 Dalga İklimi ve Enerji Potansiyeli

Proje bölgesindeki dalga iklimi, 3. Bölümde bahsi geçen çalışma kapsamında detaylı bir şekilde yapılmış olup bölgedeki açıkdeniz dalgaları özellikleri ve enerjileri hesaplanmıştır (Onöz vd., 2010). Aşağıda Çizelge 7.1'de bu hesaplamalar sonucunda elde edilen, bölgedeki açıkdeniz dalgalarının enerjileri sunulmaktadır.

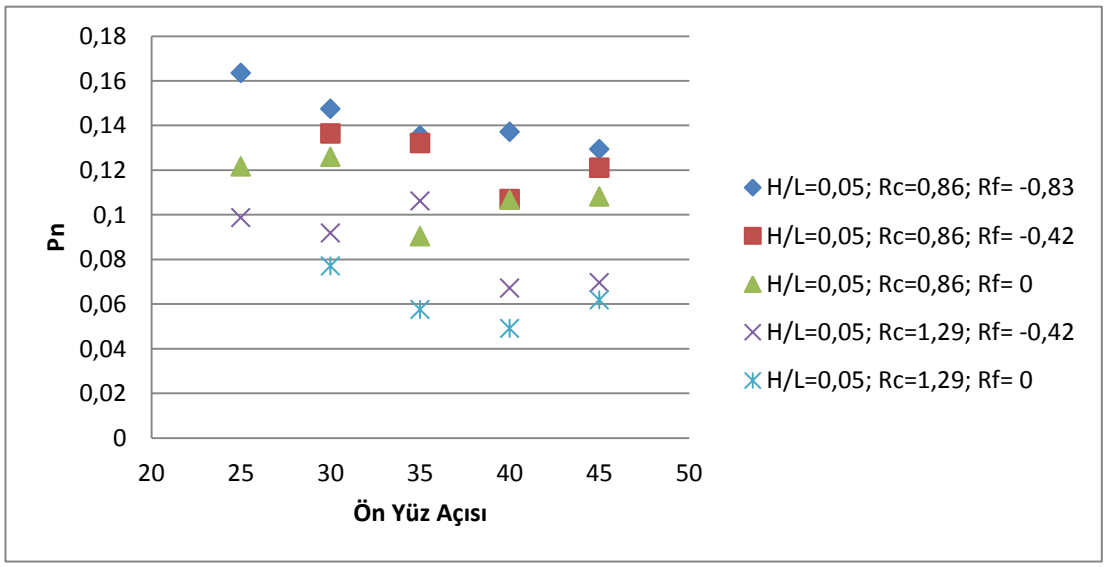
Çizelge 7.1: Kumköy dalga özelliklerine göre gruplandırılmış fırtınaların 15 yıllık toplam enerjileri (kWh/m).

		Tm (s)													
		1-2	2-3	3-4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10-11	11-12	12-13	13-14	Grup Toplamı
Hs(m)	0 - 1	11	112	588	2533	1316	0	0	0	0	0	0	0	0	4559
	1 - 2	0	0	4	182	7621	25475	22845	889	0	0	0	0	0	57015
	2 - 3	0	0	0	25	41	106	15256	54707	12675	0	0	0	0	82809
	3 - 4	0	0	0	0	76	167	125	1431	66506	57994	0	0	0	126299
	4 - 5	0	0	0	0	0	49	346	0	902	37773	71300	0	0	110370
	5 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74793	36893	0	111686
	6 - 7	0	0	0	0	0	0	0	0	885	0	0	0	7328	8213
	7 - 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23619	23619
								Toplam							524572

Çizelgede görüldüğü üzere kıyıya ulaşması beklenen enerjinin yaklaşık %97'si 1 m ile 6 m arasında yüksekliğe sahip dalgalar tarafından taşınmaktadır.

Bahsi geçen bu aralıktaki dalgaların diklikleri incelendiğinde ise, toplamda en yüksek enerjiyi taşıyan dalgaların dikliklerinin 0,02 ile 0,05 arasında seyrettiği görülmektedir. Bu nedenle yapının bu diklikteki dalgalarda en iyi performansı verecek şekilde seçilmesi önem taşımaktadır.

Deneysel çalışmalarda dalga dikliği (H/L) 0,05 olan deneylerin sonuçlarında elde edilen dönüşüm verimlerinin yapı ön yüz konfigürasyonu ile olan ilişkileri aşağıda şekil 7.5'te sunulmaktadır.

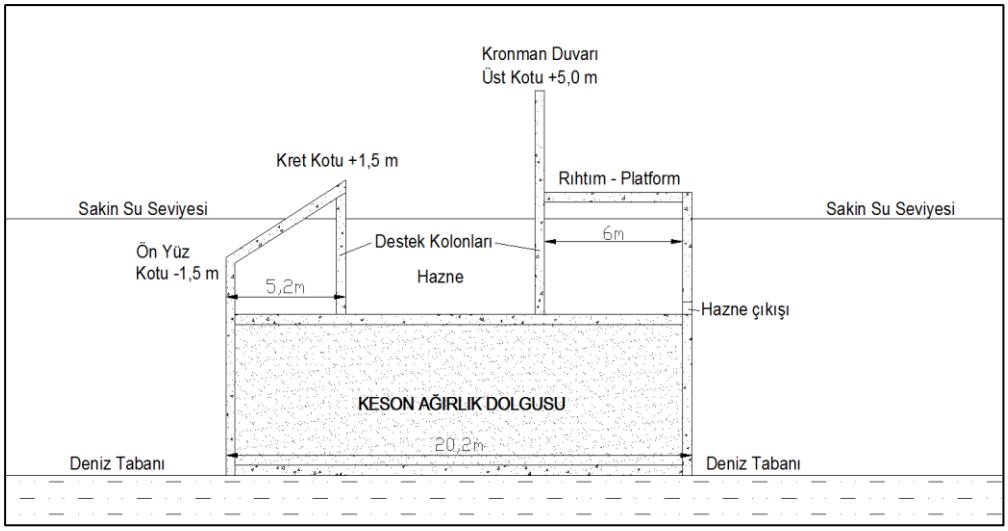


Şekil 7.5 : H/L=0,05 dalga dikliğine sahip dalgalarda yapının dönüşüm verimi ile ön yüz konfigürasyonu ilişkisi.

Şekilde görüldüğü üzere, hedeflenen dalga dikliğine sahip dalgalar için farklı ön yüz kotlarında en yüksek verimi sağlayan ön yüz eğimi 25° olarak görülmektedir. Ancak bu ön yüz açısında elde edilen dönüşüm verimi ön yüz kotuna bağlı olarak nispeten daha büyük değişim göstermektedir. Bu da farkı deniz seviyesindeki olası değişimlerde (ön yüz kotunda meydana gelebilecek değişimlerde) dönüşüm verimliliğinin de olumsuz yönde etkilenebileceğini ortaya koymaktadır. 30° lik ön yüz açısı incelendiğinde ise, 0,86 bağıl kret kotu durumunda, denenen her üç ön yüz kotu alternatifinde de birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Bu nedenle, öngörülen yapının ön yüzünün yatayla 30 derece yapacak şekilde seçilmesi daha uygun olacaktır.

Yapı için kritik öneme sahip diğer parametreler kret kotu ve ön yüz kotu olacaktır. Kret kotunun belirlenmesinde en önemli kriter, hazne içerisinde sağlanması hedeflenen seviye farkı olacaktır. Önceki bölümlerde açıklandığı üzere, kret kotu

yükseldikçe dalga aşma prensibi ile elde edilebilecek hidrolik güç düşmektedir. Bu nedenle dönüşüm açısından en verimli sistem, tesiste kullanılması planlanan türbinlerin ihtiyaç duyduğu hidrolik düşüyü sağlayacak kret kotunun kullanılması ile sağlanacaktır. Deney sonuçlarında da dönüşüm verimliliğinin bağıl kret kotu ile ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Bu bilgiler ışığında, yapının kret kotunun 1,5m olması öngörülmüştür. Bu değer hem halihazırdaki türbin teknolojisinin ihtiyaç duyduğu en düşük düşüleri sağlayacak hem de tesise gelmesi beklenen dalga aralığındaki dalgalardan maksimum faydayı sağlayacaktır. Aşağıda Şekil 7.6'da yapılan tasarıma ait tipik bir enkesit çizimi sunulmaktadır.



Şekil 7.6 : Tasarımı yapılan dalgakıranın tipik enkesiti.

Çalışmada yapılan deneylerin sonuçlarına göre, beklenen dalga dikliği ve öngörülen yapı ön yüzü tasarımıyla, yapının bulunduğu bölgede oluşacak dalga kırılma, sapma ve sığlaşmaları da dikkate alınırsa, yaklaşık %10 luk bir enerji dönüşüm verimi sağlanabileceği öngörülmektedir.

Yukarıda çizelge 7.1.'de verilmiş olan 15 yıllık toplam enerjiden yola çıkarak, yat limanı bölgesine yılda gelen dalga enerjisinin, hedeflenen aralığının toplam yıllık enerjisi yaklaşık 32,5 MWh/m.yıl olarak hesaplanmaktadır. Bu enerjinin %10 luk bir verimle dönüşümünün sağlanması halinde 3,25 MWh/m.yıl değerinde bir enerji eldesi söz konusu olmaktadır.

Projede yapımı planlananan dalgakıranın açıkdenize bakan kısmının uzunluğunun yaklaşık 1000 m olacağından, dalgakıranda elde edilecek yıllık toplam enerji yaklaşık 3250 MWh/yıl olacaktır. Bu enerjinin yaklaşık 1800 kişilik bir eşdeğer

nüfusun yıllık ihtiyacına karşı geldiği dikkate alındığında limanının kendi ihtiyacını karşılamakla kalmayıp şebekeye elektrik arzında bulunması da mümkün olacaktır.
Sistem aynı zamanda liman dışında bulunan nispeten temiz suyun liman içerisine alınmasına olanak sağladığından, normal koşullarda pompaj ile sağlanan liman içi sirkülasyonunu herhangi bir elektrik tüketimine gerek kalmadan sağlamak suretiyle ilave bir avantaj ortaya çıkartacaktır.

7.4 Maliyet Karşılaştırması

Tasarlanan sistem belli bir enerji girdisi sağlamakla birlikte, bu sistemin inşasının, konvansiyonel bir dökmetaş dalgakıran yapımı alternatifine nazaran getireceği maliyet artışının da irdelenmesi gerekecektir. Ancak sistemin detaylı yapısal tasarımı yapılmadan net bir maliyet hesabı yapılması ve konvansiyonel bir dalgakıran ile maliyet karşılaştırılması yapılması mümkün olmamakla birlikte yakın bölgelerde yapılan benzer yapıların keşif ve metrajları temel alınarak kaba bir karşılaştırma yapılması hedeflenmiştir.

Halihazırda projesi devam eden ve İstanbul'un Marmara Denizi sahillerinde yapımı planlanan bir yat limanının ana dalgakıranının hem keson hem de dökmetaş alternatifleri için projeyi yapan firmadan metraj ve keşif tabloları alınmıştır. Bu tablolar kullanılarak, tasarlanan sistem ile keşfi yapılmış olan keson dalgakıran boyutları arasındaki farklardan yola çıkarak beton, demir ve kalıp maliyetleri yeniden düzenlenerek tasarlanan sistem için birim boy (m) başına yaklaşık 45.000TL lik bir inşaat maliyeti olacağı belirlenmiştir. Aynı firma tarafından verilen, İstanbul'un çeşitli bölgelerinde yapılacak olan dökmetaş dalgakıranlara ait keşifler kullanılarak, enerji dönüştürücü tipi dalgakırana alternatif olarak yapılabilecek konvansiyonel bir dalgakıranın yaklaşık 35.000 TL/m birim maliyetle yapılabileceği görülmüştür. Hesaplanmış olan rakamlar ışığında, tasarlanan sistemin kabaca her metre dalgakıran boyu başına yaklaşık 10.000 TL'lik bir ek maliyet getirdiği görülmektedir. Ancak bu maliyetin yapının konumu ve derinliğine bağlı olarak değişkenlik göstereceği dikkate alınmalıdır. Örneğin, yapı daha derin bir bölgede yapılmaya karar verilirse, dökmetaş dalgakıranlardaki metrajın nispi olarak derinlikle daha çok arttığı dikkate alınırsa, aradaki maliyet farkının azalacağı sonucuna varılabilir. Dahası enerji dönüştürücüsü tipi dalgakıranın yapıldığı derinlik arttıkça yapıya gelen dalga enerjisi de artacak, böylece daha fazla enerji elde edilmesi de söz konusu olabilecektir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu doktora tez çalışması ile, kıyıyı korumak amacıyla yapımı planlanan veya halihazırda mevcut olan düşey yüzlü bir kıyı yapısı üzerinde çalışabilecek ve dalgalı deniz koşullarında enerji üreterek tesisin veya bölgenin enerji ihtiyacına katkıda bulunabilecek bir dalga enerjisi dönüşüm sistemin tasarlanması hedeflenmiştir.
Bu kapsamda öncelikle dalga enerjisi kavramı üzerinde detaylı bir araştırma yapılmış ve bugüne kadar geliştirilmiş olan ve halihazırda kullanımda olan dalga enerjisi dönüştürücüleri incelenmiştir (Bölüm 2).

Ayrıca Türkiye kıyılarındaki dalga enerjisi potansiyelinin belirlenmesi amacıyla, çeşitli meteoroloji istasyonlarının rüzgar kayıtları kullanılarak dalga tahminleri yapılmış ve bu dalgaların taşıdıkları enerjiler hesaplanarak farklı kıyı bölgelerimizdeki dalga enerjisi potansiyelleri ortaya konmaya çalışılmıştır (Bölüm 3).

Dalga enerjisi, mevcut dalga enerjisi dönüştürücüleri ve düşey yüzlü kıyı yapıları üzerinde yapılan literatür incelemelerden sonra bu tez kapsamında çalışılmak üzere dalga aşma prensibine dayalı bir sistemin seçilmesi uygun görülmüştür. Seçilen bu sistemin temel tasarım parametreleri ortaya konularak, bu parametrelerin sistemin performansına etkilerini belirleyebilmek adına farklı konfigürasyonların uygulanıp denenebileceği bir fiziksel model sistemi tasarlanıp kurulmuştur (Bölüm 4).

Hazırlanan bu model üzerinde, düzenli ve düzensiz dalgalar kullanılarak, farklı dalga karakteristikleri ile laboratuvar ortamında fiziksel modelleme denemeleri yapılmış ve yapının tasarımı için önem taşıyan parametreler bu denemeler sırasında detaylı olarak kaydedilmiştir (Bölüm 5).

Modelleme çalışmasında elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sistemin temel tasarım parametreleri ve bunların sistemin performansı üzerindeki etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır (Bölüm 6).

Modelleme çalışması sonucunda elde edilen bilgilerin ışığında, Kumköy (Kilyos) bölgesinde yapılacağı varsayılan bir yat limanının ana dalgakıranının aynı zamanda

dalga enerjisi dönüştürücüsü olarak da çalışacak şekilde tasarlanması halinde elde edilebilecek elektrik üretimi ve sağlayacağı diğer avantajları, kaba bir maliyet karşılaştırması ile birlikte irdelenmiştir (Bölüm 7).

Yukarıda değinilen çalışmalar sonucunda varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Ülkemizin kıyılarındaki dalga enerjisi potansiyeli incelendiğinde, en yüksek enerjili bölgenin Batı Karadeniz kıyıları olduğu görülmektedir. Nispeten yüksek enerjili bu kıyı şeridimizin aynı zamanda en yüksek enerji talebi olan sanayileşmiş bölgelere yakın olması önemli bir avantajdır. Yoğun sanayileşmenin beraberinde ulaşım ihtiyacını da doğurması, ve özellikle büyük hacimli yüklerde ekonomiklik sağlayan deniz taşımacılığı için limanlara ihtiyaç duyulması da bölgede gerek kamusal, gerekse de özel endüstri limanlarının bulunmasını ve yakın zamanda yenilerinin yapılmasının planlanmasına neden olmaktadır.
- Enerji üretimi sözkonusu olduğunda, üretilen enerjinin sürekliliği de büyük önem taşımaktadır. Dalga enerjisi açısından en yüksek potansiyele sahip olan Batı Karadeniz kıyılarımızda bile bu enerjinin sürekliliğinin sağlanmasında problemler olabileceği görülmektedir. Bahsi geçen sürekliliğin sağlanamaması nedeniyle bu çalışma kapsamında tasarlanan tipte bir enerji dönüştürücü sistemin, şebekeye bağlanarak enerji satabilmesi için gerekli koşulları sağlayamadığı görülmektedir. Ancak, bu tarz bir sistemin kendi limanına sahip olan bir endüstriyel tesis bünyesinde kurularak enerji üretmeye uygun olan hava koşullarında tesisin kendi ihtiyacına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Özellikle kıyı bölgelerinde bulunan ve kendi limanına sahip olan/planlayan enerji üretim santralleri zaten enerji satmak için gerekli teknik ve yasal altyapılara sahip olacaklarından limanlarını inşa ederken bu tür enerji dönüştürücüleri ile donatarak dalgalı zamanlarda daha fazla enerji üretme ve satma imkanına sahip olabileceklerdir.Benzer şekilde, genellikle küçük sahil kasabalarında inşa edilen balıkçı barınakları üzerinde bu tarz sistemlerin kullanılması uygun hava koşullarında yakındaki yerleşim birimlerinin enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında destekleyici olabileceği düşünülmektedir.

- Tasarlan sistem elektrik üretiminin ekonomik olmayacağı durumlarda da farklı avantajlar sağlayabilecektir. Örneğin, bir yat limanının dalgakıranları üzerinde belirli aralıklarla yerleştirilebilecek olan modüller ile yat limanının korunmuş su sahası içerisine dışarıdan temiz su girişi sağlanarak liman içerisindeki su kalitesinin korunmasına katkıda bulunabilinecektir. Yat limanları, halihazırda en büyük problemlerinden birisi olan bu sorunun çözümü için pompalar ile dışarıdaki suyu liman içine basılması suretiyle temiz su girişi ve su sirkülasyonu sağlama yöntemini kullanmaktadırlar. Bu çalışma kapsamında tasarımı hedeflenen yapı, uygun hava koşullarında bu pompaların yerine temiz su sirkülasyonu yaratarak enerji tasarrufu sağlayabilecektir.

Çalışma kapsamında yapılan fiziksel modelleme deneyleri sonucunda, tasarlanan yapının performansına etki eden parametreler ortaya konmaya çalışılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda sunulmaktadır:

- Yapının kret kotu, enerji dönüştürme verimi üzerinde büyük öneme sahiptir. Kret kotu aynı zamanda yapı haznesinde biriktirilecek olan suyun ulaşabileceği en yüksek seviyeyi gösterdiği için bu değer belirlenirken halihazırdaki türbin teknolojisi dikkate alınmalıdır. Türbin teknolojisinin izin verdiği minimum düşü yüksekliğini sağlayacak şekilde belirlenen minimum kret kotu ulaşılabilecek en yüksek verimliliği sağlayacaktır.
- Yapının önyüz kotu da dönüşüm verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yapıya gelen dalgaların hareketi (kinetik enerjisi) yapının düşey yüzlü kısmından etkilenmekte, ve enerji kaybedilmektedir. Bu nedenle yapının ön yüz kotu ne kadar derinde olursa dalgaları da o kadar az etkilemekte ve dönüşüm verimi artmaktadır. Ancak ön yüz kotu derinleştikçe yapının genişliği de artmak zorunda olduğundan hem alan kaybı hem de yapısal maliyet artışı sorunları söz konusu olabilecektir. Yapı ön yüz kotu belirlenirken yapıya gelecek dalga yüksekliği dikkate alınmalı ve ön yüz kotu en azından dalga yüksekliği kadar su seviyesinin altında olmalıdır.
- Yapı kret ve önyüz kotlarına nazaran daha az öneme sahip olsa da yapının ön yüzünün eğimi de özellikle gelen dalga dikliğine bağlı olarak dönüşüm verimliliğini etkilemektedir. Ön yüz eğimi azaldıkça uzun dalgalarda verim

artmaktayken, kısa dalgalarda daha yüksek verim almak için ön yüzün eğiminin de arttırılması gerekmektedir. Bu nedenle, yapının planlandığı bölgedeki dalga iklimi dikkatli bir şekilde incelenerek, yapıya olabilecek en yüksek enerjiyi taşıyacak olan dalga grupları belirlenip tasarım bu dalgalara odaklı olacak şekilde yapılmalıdır.

- Yapılan denemeler sırasında hazne tasarımının da yapının verimliliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Gelen dalgaların yapı önyüzünden aşarak hazne içerisine dökülmeleri doğal olarak hazne içerisinde çalkantı ve salınımlara neden olmaktadır. Gelen dalgaların periyodları ve hazne genişliğine bağlı olarak, hazen içerisinde oluşan çalkantılar depolanan suyun zaman zaman yapının ön yüzünden aşarak tekrar açıkdenize kaçabilmektedir. Sistemin genel veriminin düşmesine yol açabilecek bu tür kaçakların önlenebilmesi için hazne genişliğinin dalga periyodlarına bağlı olarak büyük çalkantıların oluşmasına neden olmayacak şekilde boyutlandırılması veya hazne içerisinde çalkantı oluşmasını engellemek amaçlı enerji kırıcı ilave önlemlerin alınması gerekecektir.

Bu doktora tezi çalışması ile temel tasarım parametreleri ve bunların performansa olan etkileri ortaya konulan dalga enerjisi dönüştürücü yapının bir endüstrüyel tesisin limanın, bir kasabanın balıkçı barınağının, veya bir yat limanının dalgakıranları üzerinde uygulanarak, inşa edildiği tesisin yada yerleşim bölgesinin enerji ihtiyacına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Sistem keson tipi bir dalgakıran yapısı üzerinde, önemli ilave inşaat maliyetleri gerektirmeden uygulanabilecek bir özelliktedir. Sistem ile elektrik üretimi hedeflenmesi halinde, sistemin yapılacağı bölgedeki dalga iklimi detaylı bir şekilde incelenerek tesisin optimizasyonu yapılmalı ve üretebileceği elektrik enerjisi miktarları hesaplanarak sistemin esas maliyet kalemi olması beklenen türbin sisteminin fizibilitesi değerlendirilmelidir. Elektrik üretiminin ekonomik olmayacağı durumlarda bile, yat limanı tarzı, liman içindeki su kalitesinin önem taşıdığı tesislerde, su sirkülasyonu ve temiz su girişi sağlanması amacıyla bu tür sistemlerin uygulanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Bagnold, R.A. (1939). Interim Report on Wave Pressure Research, *Jour. Inst. Civil Engrs. Vol. 12*, p. 202-226,.

Bedard R., Hagerman G., Presevic M., Siddiqui O., Thresher R, Ram B. (2005). Offshore Wave Power Feasibility Demonstration Project Final Summary Report, (EPRI Report E2I EPRI Global WP 009 – US Rev1), January 14.

Ceylan, Ç. (2009). *Internal Rate of Return Evaluation of Renewable Energy Power Plants,* San Jose State University,Charles W.Davidson College of Engineering, Department of Industrial and system Engineering,ISE 298 M.Sc. Project

Cruz, J. (2008). *Ocean Wave Energy, Current Status and Future Perspectives*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

De, O., ve Falcao, A.F. (2004). First-Generation Wave Power Plants: Current Status and R&D Requirements, *Journal of Offshore Mechanic Arct. Engineering*, ss: 384- 388.

Defne, Z., Haas, K.A., ve Fritz, H.M. (2009). Wave Power Potential along the Atlantic Coast of the Southeastern USA, *Renewable Energy*.

Dunnett, D., ve Wallace, J.S. (2009). Electricity Generation from Wave Power in Canada, *Renewable Energy, 34,* ss: 179- 195.

Folley, M., ve Whittaker, T.J.T. (2009). Analysis of the Nearshore Wave Energy Resource, *Renewable Energy, 34,* ss: 1709- 1715.

Gailard, B. (1905) Wave Action in Engineering Structures, *Engineering News.*

Goda Y, Takagi H. (2000). A reliability design method of caisson breakwaters with optimal wave heights, *Coastal Engineering Journal, 42(40)*:357–387.

Goda Y. (1994). Dynamic response of upright breakwater to impulsive force of breaking wave, *Coastal Engineering*, *22(1,2)*:135 –158.

Goda, Y. (1974). A New Method of Wave Pressure Calculations for the Design of Composite Breakwaters, *Proc. 14th Int. Conf. Coastal Eng'g, Copenhagen*, p. 1702-1720.

Goda, Y. (1985). *Random Seas and Design of Maritime Structures,* University of Tokyo Press, Japonya.

Goda, Y. (1967). The fourth order approximation to the pressure of standing waves, *Coastal Engineering in Japan 10*, 1–11.

Goda, Y. ve Fukimori, T. (1972). Laboratory Investigation of Wave Pressures Exerted upon Vertical ve Composite Walls, *Coastal Engineering in Japan, Vol. 15*, p. 81-90.

Goda, Y. ve Kakizaki, S. (1967). Study on Finite Amplitude Standing Waves and Their Pressure upon a Vertical Wall. *Coastal Engineering in Japan, Vol. 10*, p. 1-11.

Hagerman G., and Bedard R. (2003). Guidelines for Preliminary Estimation of Power Production by Offshore Wave Energy Conversion Devices, (EPRI Report E2I EPRI – WP – US – 001), December 22.

Hagerman G., and Bedard R. (2004). Offshore Wave Energy Conversion Devices, (EPRI Report E2I EPRI – WP – 004 – US – Rev1), June 16.

Hiroi, I. (1919). On a Method of Estimating the Forces of Waves, *Memoirs of Eng'g Faculty, Imperial University, Tokya, Vol. 10*, No.1, p.19.

Ito,Y., Fujishima, M. ve Kitatani, T. (1971). On the Stability of Breakwaters, *Coastal Engineering in Japan, Vol. 14*, p. 53-61.

Ivanova I.A., Bernhoff H., Ågren O., Leijon M. (2005). Simulated generator for wave energy extraction in deep water, *Ocean Engineering vol.32,* pp 1664–1678.

Kabdaşlı, S. (1992). *Kıyı Mühendisliği,* İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası İstanbul

Kabdaşlı S., Önöz B., Yeğen B., Yılmaz A., Babaç G., Varol Ö.E., Albostan A. (2007). Türkiye Kıyılarındaki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi - Kumköy Örneği –, *6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu* 25-28 Ekim, Bildiriler Kitabı sf 445-452.

Kırkgöz, M.S. (1990). An experimental investigation of a vertical wall response to breaking wave impact, *Ocean Engineering 17*, 379–391.

Kırkgöz, M.S. (1995). Breaking wave impact on vertical and sloping coastal structures, *Ocean Engineering 22*, 35–48.

Kırkgöz, M.S. (1991). Impact pressure of breaking waves on vertical and sloping walls" *Ocean Engineering 18*, 45–59.

Kırkgöz, M.S. (1982). Shock pressure of breaking waves on vertical walls, *Journal of WatWay, Port Coastal Ocean Division*, ASCE 108, 81–95.

Kırkgöz, M.S., Mengi, Y. (1987). Design of a caisson plate under wave impact, *Ocean Engineering 14*, 275–283.

Kırkgöz, M.S., Mengi, Y. (1986). Dynamic response of a caisson plate to wave impact, *Journal of WatWay, Port Coastal Ocean Division*, ASCE 112, 284–297.

Kırkgöz, M.S., Tanrıkulu, A.K. ve Dündar, C. (2004). Dynamic analysis of a vertical plate exposed to breaking wave impact, *Ocean Engineering 31,* 1623–1635.

Kim T-M ve Takayama T. (2003). Computational improvement for expected sliding distance of a caisson-type breakwater by introduction of a doubly-truncated normal distribution, *Coastal Engineering Journal*, *45(3)*:387– 419.

Minikin, R.R. (1950). *Winds, Waves and Maritime Structures*, Griffin, London.

Mitsuyasu, H. (1966). Shock pressures of breaking wave, *Proc., 10th Int. Conf. Coast. Engrg., Vol. 1*, ASCE, New York, 268–283.

Mogridge, G.R. ve Jamieson, W.W. (1980). Wave impact pressures on composite breakwaters, *Proceedings Seventeenth Conference on Coastal Engineering*, 23–28 March, Sydney, Australia, ASCE 2, pp. 1829–1848.

Oumeraci H, Kortenhaus A. (1994). Analysis of the dynamic response of caisson breakwater, *Coastal Engineering*, 22(1; 2):159 –183.

Oumeraci, H. (1994). Review and analysis of vertical breakwater failures—lessons learned, *Coastal Engineering 22*, 3–29.

Oumeraci, H. ve Partenscky, H.-W. (1991). Breaking wave impact loading of caisson breakwaters—Effect of entrapped air on structural response, *Proc., 1st Workshop on Wave Impact Loading of Vertical Struct*., Contract 0032-M(JR), Hannover, Mass.

Önöz, B., Kabdaşlı, S., Yeğen, B., Yılmaz, A., Baba., G., Albostan, A., Varol, Ö.E., (2010). *Türkiye Kıyılarında Dalga Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi*, (İ.T.Ü. B.A.P. Projesi Sonuç Raporu) İstanbul.

Pelc, R., ve Fujita, R.M. (2002). Renewable Energy from the Ocean, *Marine Policy*, *26*, ss: 471- 479.

Ramkema, C. (1978). A model law for wave impacts on coastal structures" *Proc., 16th Int. Conf. Coast. Engrg., Vol. 3,* ASCE, New York, 2308–2327.

Randlov, P. (1996). *Finalreport and annexes to the Offshore wave energy converters (OWEC-1) Project*.

Rusu, E., ve Guedes, S.C. (2009). Numerical Modelling to Estimate the Spatial Distribution of the Wave Energy in the Portuguese Nearshore, *Renewable Energy*, *34*, ss: 1501- 1516.

Sainflou, G. (1928). Essai sur Les Digues Maritimes, Verticales", *Annales Ponts et Chaussées*, *Vol. 98*, No. 4.

Shimosako K, Takahashi S. (1998). *Reliability of design method of composite breakwater using expected sliding distance*, (Report of the Port and Harbour Research Institute), 37(3):3 –30.

Stevenson, Th. (1986). *The Design and Construction of Harbours*, (3rd Ed.), Adam & Charles Black.

Tadjbakshsh, I. ve Keller, J.B. (1960). Standing Surface Waves of Finite Amplitude, *Journal of Fluid Mechanics 8*, 442–451.

Takahashi, S., Tanimoto, K. ve Shimosako, K. (1994). A proposal of impulsive pressure coefficient for the design of composite breakwaters, *Proc. Hydro-Port'94*, vol. 1. Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, pp. 489– 504.

Tanrıkulu, A.K., Kırkgöz, M.S., Dündar, C. (2002). Theoretical and experimental investigation of a vertical wall response to wave impact, *Ocean Engineering 29*, 769–782, 2002.

Thies, P.,Smith, G., Wolfram, J. (2008). Reliability of marine energy converters, *SuperGen Marine Energy Research Annual Assembly* – Edinburgh.

Topliss, M. E. (1994). *Water wave impact on structures*, (Doktara Tezi), University of Bristol, Bristol, U.K.

Url-1 < http://ec.europa.eu/energy/atlas/home.html> alındığı tarih: Mart 2008.

Url-2<http://www.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/costs.html>, alındığı tarih: Ocak 2009.

Url-3<http://peakenergy.blogspot.com/2007/09/ausra-shining-brightly-over-pacific.html>, alındığı tarih: Ocak 2009.

Url-4 <http://www.desertec-australia.org/>, alındığı tarih: Ocak 2008.

Url-5 <www.overtopping-manual.com>, alındığı tarih: Temmuz 2008.

Url-6 <www.google-earth.com>, alındığı tarih: Ocak 2011.

Uygur,I, Demirci R., Saruhan H., Özkan A., Belenli İ. (2006). Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (1).

Ünal, N.E. (1996). *Düzenli ve düzensiz dalgaların etkisiyle şev üzerindeki iri danelerin harekete başlaması*, (Doktora Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Walkden, M.J., Wood, D.J., Bruce ve T., Pregrine, D.H. (2001). Impulsive seaward loads induced by wave overtopping on caisson breakwaters", *Coastal Engineering, (42),* 257-276.

Wang Y, Hua L ve Dong S. (2004). Dynamic model of vibrating-sliding-uplift rocking coupled motion and dynamic design method of caisson breakwaters, *Science in China, Series E, 34(3)*:564 –576.

Wang Y., Chen N.N. ve Chi L.H. (2006). Numerical simulation on joint motion process of various modes of caisson breakwater under wave excitation, *Communication in Numerical Methods in Eng'g, (22),* 535-545.

Wang Y-Z. (2001). Motion and stability of caisson breakwater under breaking wave impact, *Canadian Journal of Civil Engineering, 28(6):*960 –968.

Williams, A.N. Mansouur, A.M. ve Lee H.S. (2000). Simplified analytical solutions for wave interaction with absorbing-type caisson breakwaters, *Ocean Engineering, (27),* 1231-1248.

Wood, D.J. Peregrine, D.H. ve Bruce, T. (2000). Wave Impact on a Wall Using Pressure-Impulse Theory I: Trapped Air, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 126, No. 4,* 182-190.

Yagci, O. and Kabdaşlı, S. (2003). Alternative placement technique for antifer blocks used on breakwaters, *Ocean Engineering, 30 (11)*:1433-1451.

EKLER

EK A: Deney Planı Çizelgesi.

EK B: Düzensiz Dalga Deneylerinde elde edilen hazne çıkışı akım hızı zaman serileri grafikleri.

EK C : Deneylerde Kaydedilen Basınç Zaman Serisi Grafikleri.

EK A : DENEY PLANI ÇİZELGESİ.

Çizelge A.1 : Belirlenen ve uygulanan deney programı.

Sıra no	Deney no:	Konfigürasyon numarası	Kret Kotu	Yapı önyüzü kotu (cm)	Dalga tipi	Dalga etiketi	Kayıt süresi (dk)
1	101	1-5	9	0	düzenli	11	3
2	102	1-5	9	0	düzensiz	6	6
3	103	1-5	9	0	düzensiz	9	6
4	104	1-5	9	0	düzensiz	12	6
5	105	1-5	9	0	düzensiz	20	6
6	106	1-5	9	0	Düzenli	22	3
7	107	1-5	9	0	Düzenli	32	3
8	108	1-5	9	0	Düzenli	13	3
9	109	1-5	9	0	Düzenli	33	3
10	110	1-4	9	0	Düzenli	11	3
11	111	1-4	9	0	Düzenli	22	3
12	112	1-4	9	0	Düzenli	32	3
13	113	1-4	9	0	Düzenli	13	3
14	114	1-4	9	0	Düzenli	33	3
15	115	1-4	9	0	Düzensiz	6	6
16	116	1-4	9	0	Düzensiz	9	6
17	117	1-4	9	0	Düzensiz	12	6
18	118	1-4	9	0	Düzensiz	20	6
19	120	1-3	9	0	Düzenli	11	3
20	121	1-3	9	0	Düzenli	22	3
21	122	1-3	9	0	Düzenli	32	3
22	123	1-3	9	0	Düzenli	13	3
23	124	1-3	9	0	Düzenli	33	3
24	125	1-3	9	0	Düzensiz	6	6
25	126	1-3	9	0	Düzensiz	9	6
26	127	1-3	9	0	Düzensiz	12	6
27	128	1-3	9	0	Düzensiz	20	6
28	129	1-3	9	0	Düzensiz	20	6
29	130	1-2	9	0	Düzenli	11	3
30	131	1-2	9	0	Düzenli	22	3
31	132	1-2	9	0	Düzenli	32	3
32	133	1-2	9	0	Düzenli	13	3
33	134	1-2	9	0	Düzenli	33	3
34	135	1-2	9	0	Düzensiz	6	6
35	136	1-2	9	0	Düzensiz	9	6
36	137	1-2	9	0	Düzensiz	12	6
37	138	1-2	9	0	Düzensiz	20	6
38	139	1-2	9	0	Düzensiz	12	6
39	140	1-1	9	0	Düzenli	11	3
40	141	1-1	9	0	Düzenli	22	3
41	142	1-1	9	0	Düzenli	32	3
42	143	1-1	9	0	Düzenli	13	3
43	144	1-1	9	0	Düzenli	33	3
44	145	1-1	9	0	Düzensiz	6	6
45	146	1-1	9	0	Düzensiz	9	6
46	147	1-1	9	0	Düzensiz	12	6
47	148	1-1	9	0	Düzensiz	20	6

Çizelge A.1 (devam) Belirlenen ve uygulanan deney programı.

Sıra no	Deney no:	Konfigürasyon numarası	Kret Kotu	Yapı önyüzü kotu (cm)	Dalga tipi	Dalga etiketi	Kayıt süresi (dk)
48	150	2-5	9	-5	Düzenli	11	3
49	151	2-5	9	-5	Düzenli	22	3
50	152	2-5	9	-5	Düzenli	32	3
51	153	2-5	9	-5	Düzenli	13	3
52	154	2-5	9	-5	Düzenli	33	3
53	155	2-5	9	-5	Düzensiz	6	6
54	156	2-5	9	-5	Düzensiz	9	6
55	157	2-5	9	-5	Düzensiz	12	6
56	158	2-5	9	-5	Düzensiz	20	6
57	160	2-5	14	0	Düzenli	11	3
58	161	2-5	14	0	Düzenli	22	3
59	162	2-5	14	0	Düzenli	32	3
60	163	2-5	14	0	Düzenli	13	3
61	164	2-5	14	0	Düzenli	33	3
62	165	2-5	14	0	Düzensiz	6	6
63	166	2-5	14	0	Düzensiz	9	6
64	167	2-5	14	0	Düzensiz	12	6
65	168	2-5	14	0	Düzensiz	20	6
66	170	2-4	9	-5	Düzenli	11	3
67	171	2-4	9	-5	Düzenli	22	3
68	172	2-4	9	-5	Düzenli	32	3
69	173	2-4	9	-5	Düzenli	13	3
70	174	2-4	9	-5	Düzenli	33	3
71	175	2-4	9	-5	Düzensiz	6	6
72	176	2-4	9	-5	Düzensiz	9	6
73	177	2-4	9	-5	Düzensiz	12	6
74	178	2-4	9	-5	Düzensiz	20	6
75	180	2-4	14	0	Düzenli	11	3
76	181	2-4	14	0	Düzenli	22	3
77	182	2-4	14	0	Düzenli	32	3
78	183	2-4	14	0	Düzenli	13	3
79	184	2-4	14	0	Düzenli	33	3
80	185	2-4	14	0	Düzensiz	6	6
81	186	2-4	14	0	Düzensiz	9	6
82	187	2-4	14	0	Düzensiz	12	6
83	188	2-4	14	0	Düzensiz	20	6
84	190	2-3	14	0	Düzenli	11	3
85	191	2-3	14	0	Düzenli	22	3
86	192	2-3	14	0	Düzenli	32	3
87	193	2-3	14	0	Düzenli	13	3
88	194	2-3	14	0	Düzenli	33	3
89	195	2-3	14	0	Düzensiz	6	6
90	196	2-3	14	0	Düzensiz	9	6
91	197	2-3	14	0	Düzensiz	12	6
92	198	2-3	14	0	Düzensiz	20	6
93	200	2-3	9	-5	Düzenli	11	3
94	201	2-3	9	-5	Düzenli	22	3
95	202	2-3	9	-5	Düzenli	32	3
96	203	2-3	9	-5	Düzenli	13	3
97	204	2-3	9	-5	Düzenli	33	3
98	205	2-3	9	-5	Düzensiz	6	6
99	206	2-3	9	-5	Düzensiz	9	6
100	207	2-3	9	-5	Düzensiz	12	6
101	208	2-3	9	-5	Düzensiz	20	6

Çizelge A.1 (devam) Belirlenen ve uygulanan deney programı.

Sıra no	Deney no:	Konfigürasyon numarası	Kret Kotu	Yapı önyüzü kotu (cm)	Dalga tipi	Dalga etiketi	Kayıt süresi (dk)
102	210	2-2	9	-5	Düzenli	11	3
103	211	2-2	9	-5	Düzenli	22	3
104	212	2-2	9	-5	Düzenli	32	3
105	213	2-2	9	-5	Düzenli	13	3
106	214	2-2	9	-5	Düzenli	33	3
107	215	2-2	9	-5	Düzensiz	6	6
108	216	2-2	9	-5	Düzensiz	9	6
109	217	2-2	9	-5	Düzensiz	12	6
110	218	2-2	9	-5	Düzensiz	20	6
111	220	2-2	14	0	Düzenli	11	3
112	221	2-2	14	0	Düzenli	22	3
113	222	2-2	14	0	Düzenli	32	3
114	223	2-2	14	0	Düzenli	13	3
115	224	2-2	14	0	Düzenli	33	3
116	225	2-2	14	0	Düzensiz	6	6
117	226	2-2	14	0	Düzensiz	9	6
118	227	2-2	14	0	Düzensiz	12	6
119	228	2-2	14	0	Düzensiz	20	6
120	230	2-1	14	0	Düzenli	11	3
121	231	2-1	14	0	Düzenli	22	3
122	232	2-1	14	0	Düzenli	32	3
123	233	2-1	14	0	Düzenli	13	3
124	234	2-1	14	0	Düzenli	33	3
125	235	2-1	14	0	Düzensiz	6	6
126	236	2-1	14	0	Düzensiz	9	6
127	237	2-1	14	0	Düzensiz	12	6
128	238	2-1	14	0	Düzensiz	20	6
129	240	2-1	9	-5	Düzenli	11	3
130	241	2-1	9	-5	Düzenli	22	3
131	242	2-1	9	-5	Düzenli	32	3
132	243	2-1	9	-5	Düzenli	13	3
133	244	2-1	9	-5	Düzenli	33	3
134	245	2-1	9	-5	Düzensiz	6	6
135	246	2-1	9	-5	Düzensiz	9	6
136	247	2-1	9	-5	Düzensiz	12	6
137	248	2-1	9	-5	Düzensiz	20	6
138	250	3-5	9	-10	Düzenli	11	3
139	251	3-5	9	-10	Düzenli	22	3
140	252	3-5	9	-10	Düzenli	32	3
141	253	3-5	9	-10	Düzenli	13	3
142	254	3-5	9	-10	Düzenli	33	3
143	255	3-5	9	-10	Düzensiz	6	6
144	256	3-5	9	-10	Düzensiz	9	6
145	257	3-5	9	-10	Düzensiz	12	6
146	258	3-5	9	-10	Düzensiz	20	6
147	260	3-5	14	-5	Düzenli	11	3
148	261	3-5	14	-5	Düzenli	22	3
149	262	3-5	14	-5	Düzenli	32	3
150	263	3-5	14	-5	Düzenli	13	3
151	264	3-5	14	-5	Düzenli	33	3
152	265	3-5	14	-5	Düzensiz	6	6
153	266	3-5	14	-5	Düzensiz	9	6
154	267	3-5	14	-5	Düzensiz	12	6
155	268	3-5	14	-5	Düzensiz	20	6

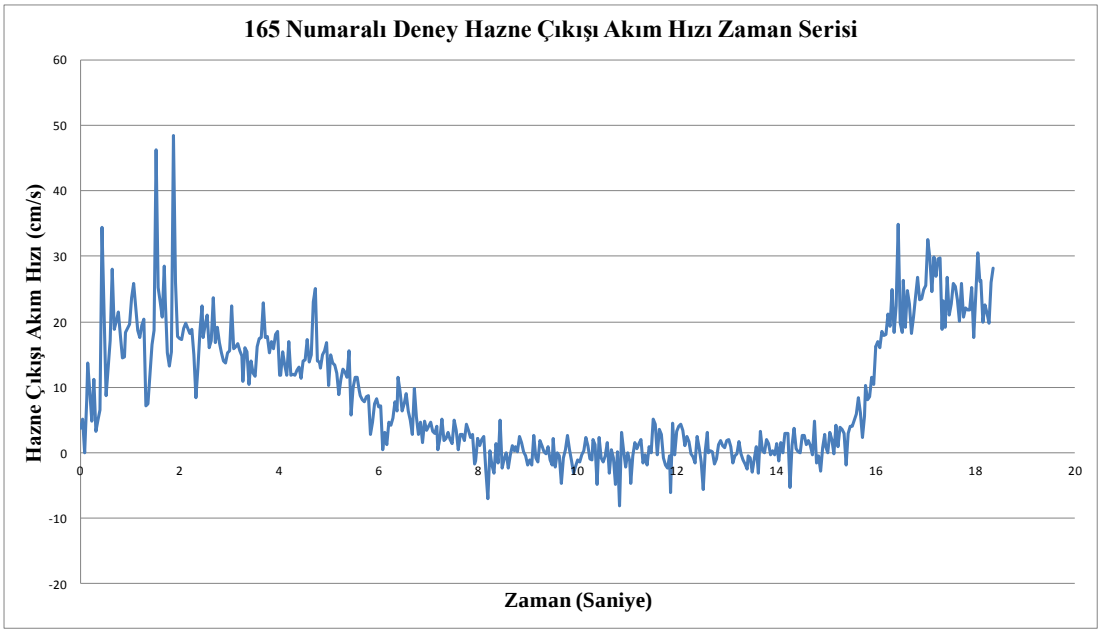
Çizelge A.1 (devam) Belirlenen ve uygulanan deney programı.

Sıra no	Deney no:	Konfigürasyon numarası	Kret Kotu	Yapı önyüzü kotu (cm)	Dalga tipi	Dalga etiketi	Kayıt süresi (dk)
156	270	3-4	14	-5	Düzenli	11	3
157	271	3-4	14	-5	Düzenli	22	3
158	272	3-4	14	-5	Düzenli	32	3
159	273	3-4	14	-5	Düzenli	13	3
160	274	3-4	14	-5	Düzenli	33	3
161	275	3-4	14	-5	Düzensiz	6	6
162	276	3-4	14	-5	Düzensiz	9	6
163	277	3-4	14	-5	Düzensiz	12	6
164	278	3-4	14	-5	Düzensiz	20	6
165	280	3-4	9	-10	Düzenli	11	3
166	281	3-4	9	-10	Düzenli	22	3
167	282	3-4	9	-10	Düzenli	32	3
168	283	3-4	9	-10	Düzenli	13	3
169	284	3-4	9	-10	Düzenli	33	3
170	285	3-4	9	-10	Düzensiz	6	6
171	286	3-4	9	-10	Düzensiz	9	6
172	287	3-4	9	-10	Düzensiz	12	6
173	288	3-4	9	-10	Düzensiz	20	6
174	290	3-3	9	-10	Düzenli	11	3
175	291	3-3	9	-10	Düzenli	22	3
176	292	3-3	9	-10	Düzenli	32	3
177	293	3-3	9	-10	Düzenli	13	3
178	294	3-3	9	-10	Düzenli	33	3
179	295	3-3	9	-10	Düzensiz	6	6
180	296	3-3	9	-10	Düzensiz	9	6
181	297	3-3	9	-10	Düzensiz	12	6
182	298	3-3	9	-10	Düzensiz	20	6
183	300	3-3	14	-5	Düzenli	11	3
184	301	3-3	14	-5	Düzenli	22	3
185	302	3-3	14	-5	Düzenli	32	3
186	303	3-3	14	-5	Düzenli	13	3
187	304	3-3	14	-5	Düzenli	33	3
188	305	3-3	14	-5	Düzensiz	6	6
189	306	3-3	14	-5	Düzensiz	9	6
190	307	3-3	14	-5	Düzensiz	12	6
191	308	3-3	14	-5	Düzensiz	20	6
192	310	3-2	14	-5	Düzenli	11	3
193	311	3-2	14	-5	Düzenli	22	3
194	312	3-2	14	-5	Düzenli	32	3
195	313	3-2	14	-5	Düzenli	13	3
196	314	3-2	14	-5	Düzenli	33	3
197	315	3-2	14	-5	Düzensiz	6	6
198	316	3-2	14	-5	Düzensiz	9	6
199	317	3-2	14	-5	Düzensiz	12	6
200	318	3-2	14	-5	Düzensiz	20	6
201	320	3-2	9	-10	Düzenli	11	3
202	321	3-2	9	-10	Düzenli	22	3
203	322	3-2	9	-10	Düzenli	32	3
204	323	3-2	9	-10	Düzenli	13	3
205	324	3-2	9	-10	Düzenli	33	3
206	325	3-2	9	-10	Düzensiz	6	6
207	326	3-2	9	-10	Düzensiz	9	6
208	327	3-2	9	-10	Düzensiz	12	6
209	328	3-2	9	-10	Düzensiz	20	6

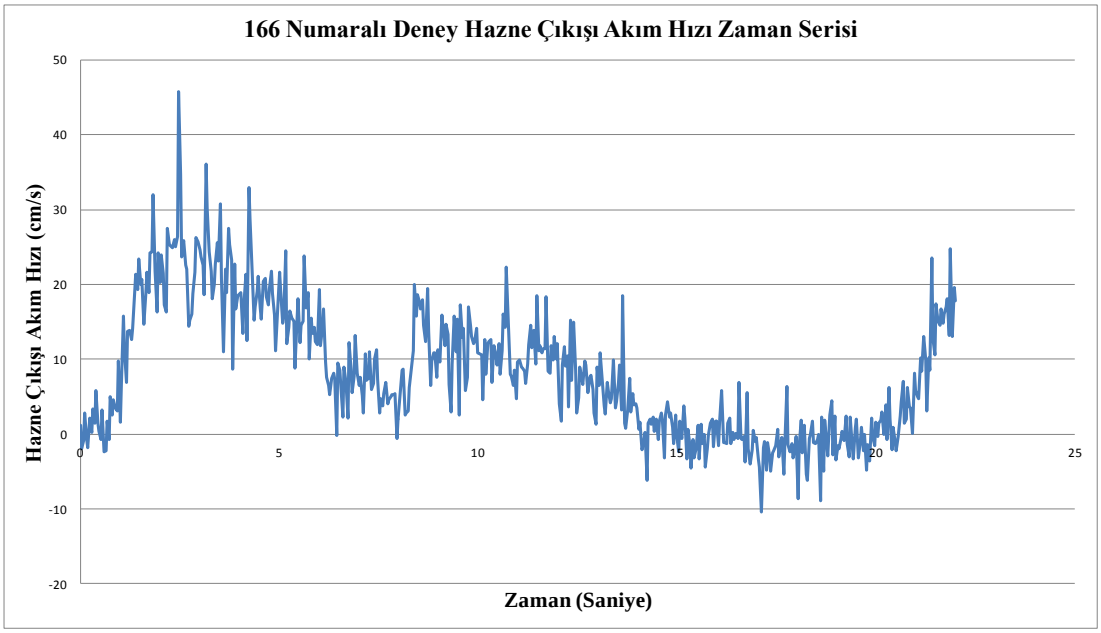
Çizelge A.1 (devam) Belirlenen ve uygulanan deney programı.

Sıra no	Deney no:	Konfigürasyon numarası	Kret Kotu	Yapı önyüzü kotu (cm)	Dalga tipi	Dalga etiketi	Kayıt süresi (dk)
210	330	3-1	9	-10	Düzenli	11	3
211	331	3-1	9	-10	Düzenli	22	3
212	332	3-1	9	-10	Düzenli	32	3
213	333	3-1	9	-10	Düzenli	13	3
214	334	3-1	9	-10	Düzenli	33	3
215	335	3-1	9	-10	Düzensiz	6	6
216	336	3-1	9	-10	Düzensiz	9	6
217	337	3-1	9	-10	Düzensiz	12	6
218	338	3-1	9	-10	Düzensiz	20	6
219	340	3-1	14	-5	Düzenli	11	3
220	341	3-1	14	-5	Düzenli	22	3
221	342	3-1	14	-5	Düzenli	32	3
222	343	3-1	14	-5	Düzenli	13	3
223	344	3-1	14	-5	Düzenli	33	3
224	345	3-1	14	-5	Düzensiz	6	6
225	346	3-1	14	-5	Düzensiz	9	6
226	347	3-1	14	-5	Düzensiz	12	6
227	348	3-1	14	-5	Düzensiz	20	6

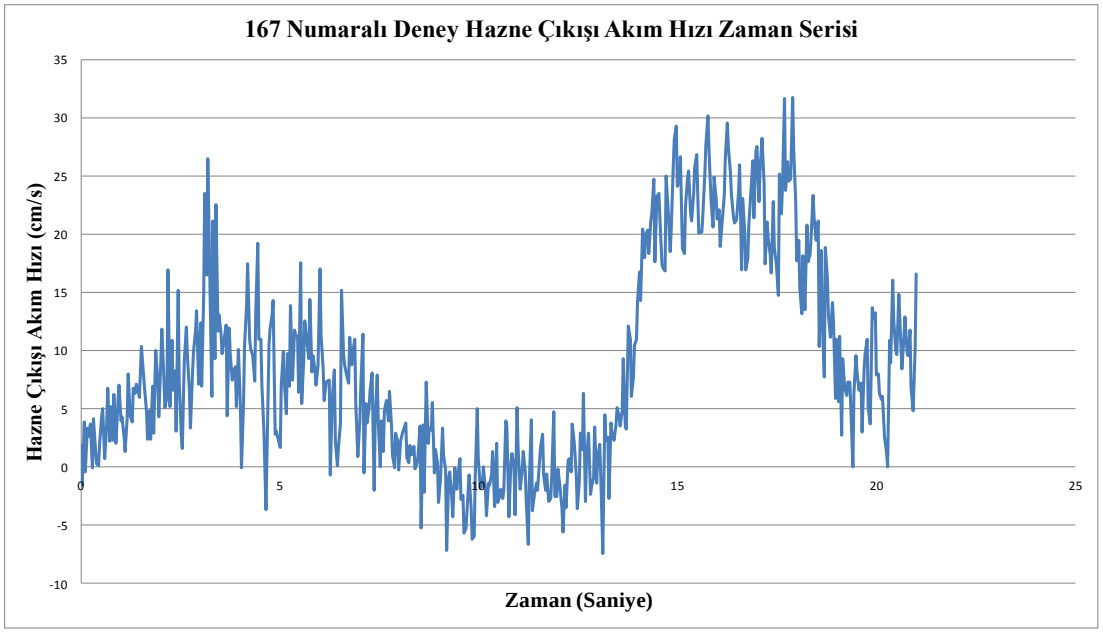
EK B : DÜZENSİZ DALGA DENEYLERİNDE ELDE EDİLEN HAZNE ÇIKIŞI AKIM HIZI ZAMAN SERİLERİ GRAFİKLERİ.



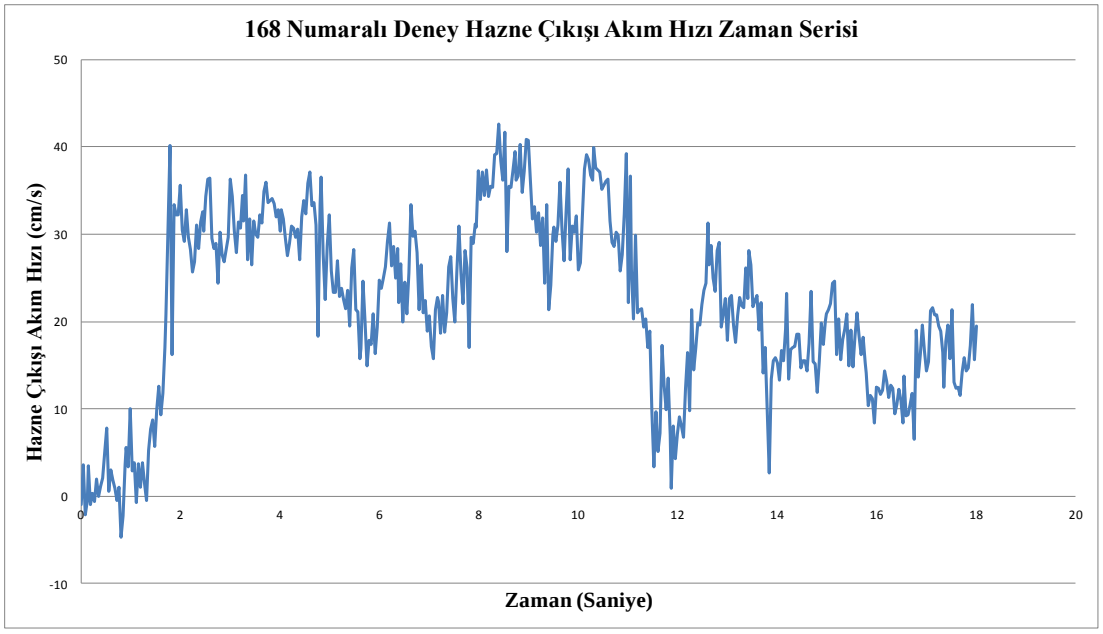
Şekil B.1 : 165 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



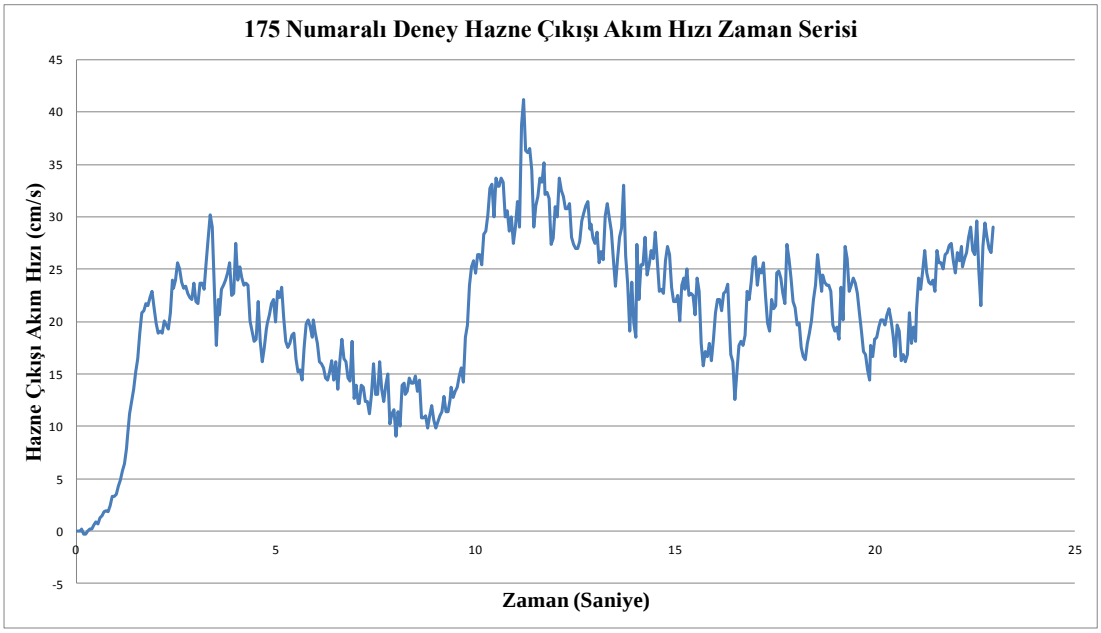
Şekil B.2 : 166 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



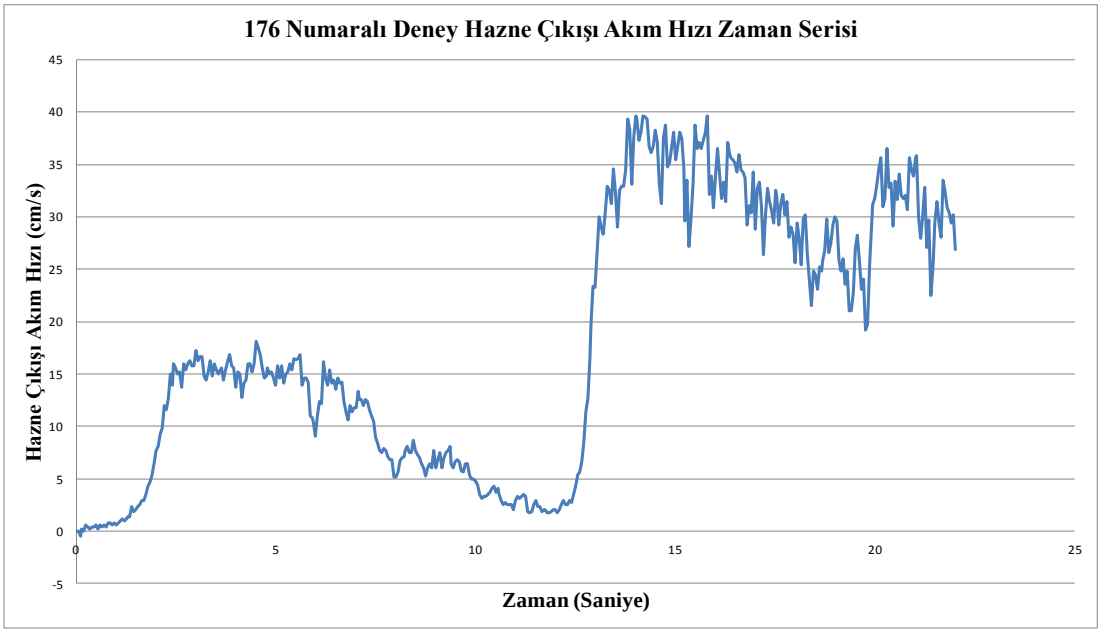
Şekil B.3 : 167 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



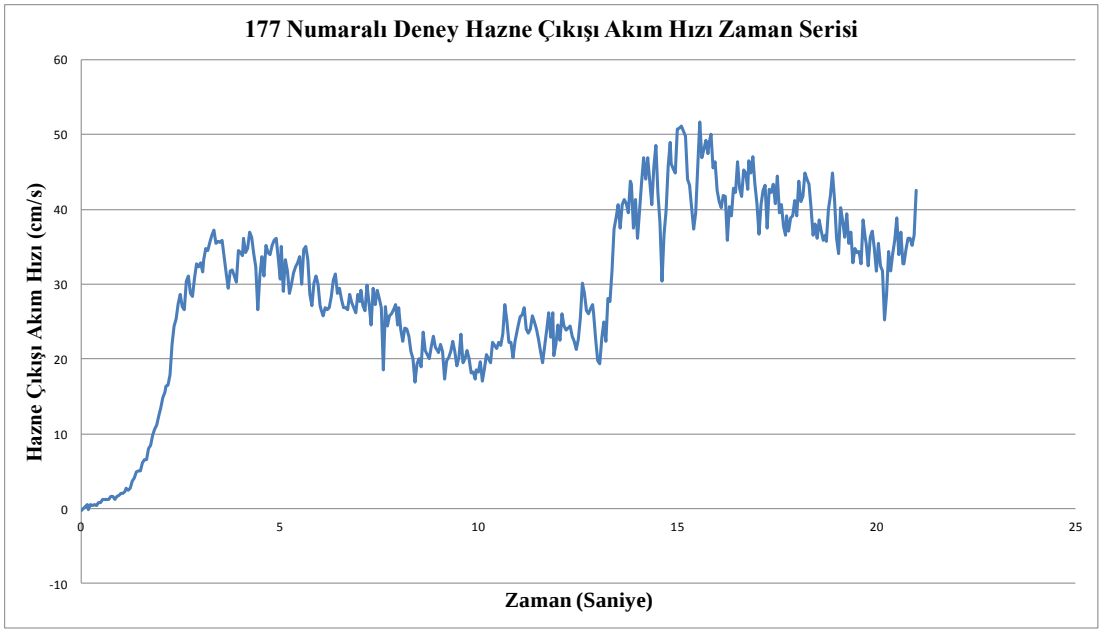
Şekil B.4 : 168 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



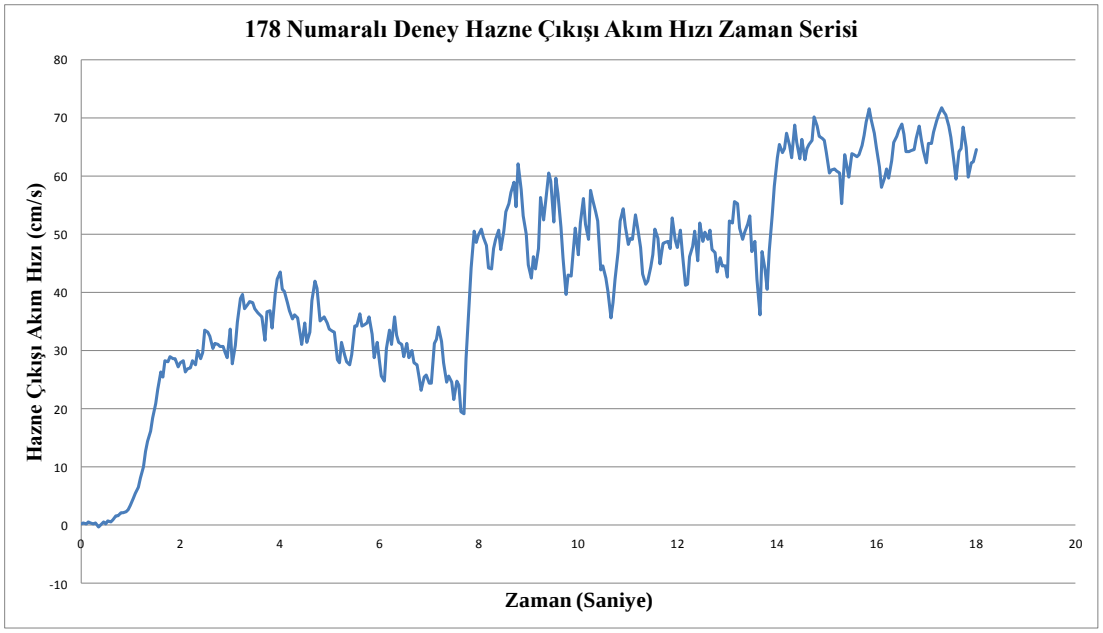
Şekil B.5 : 175 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



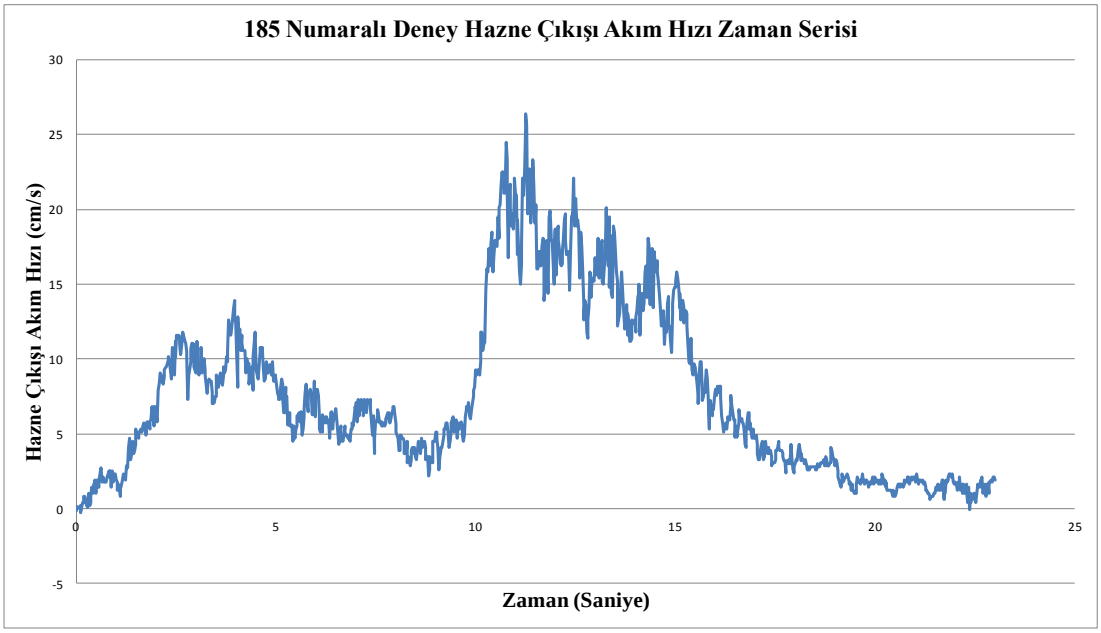
Şekil B.6 : 176 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



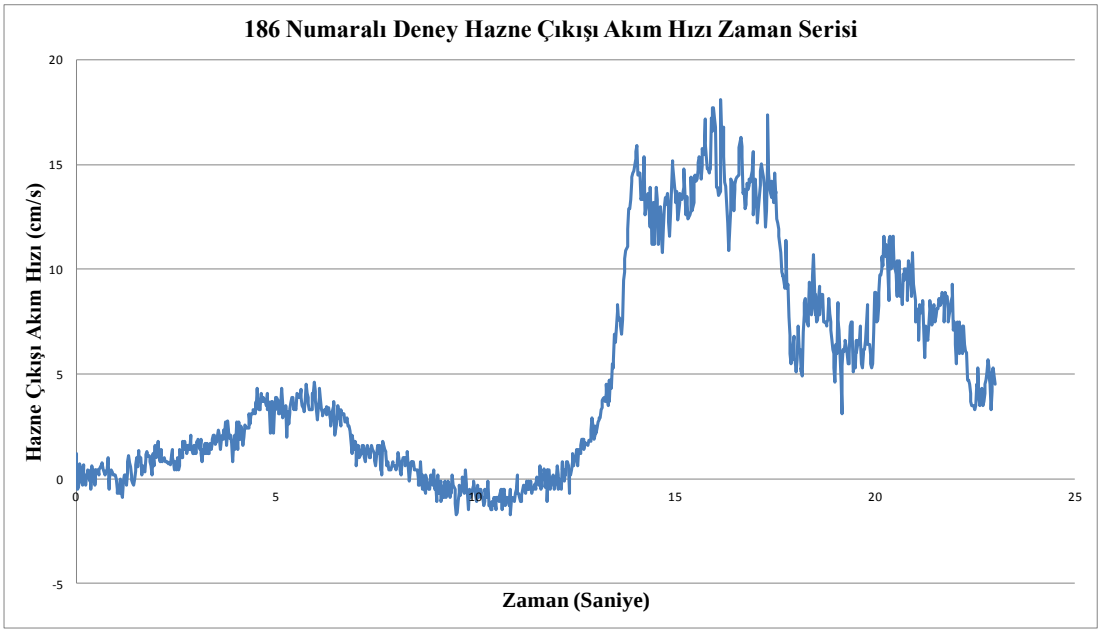
Şekil B.7 : 177 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



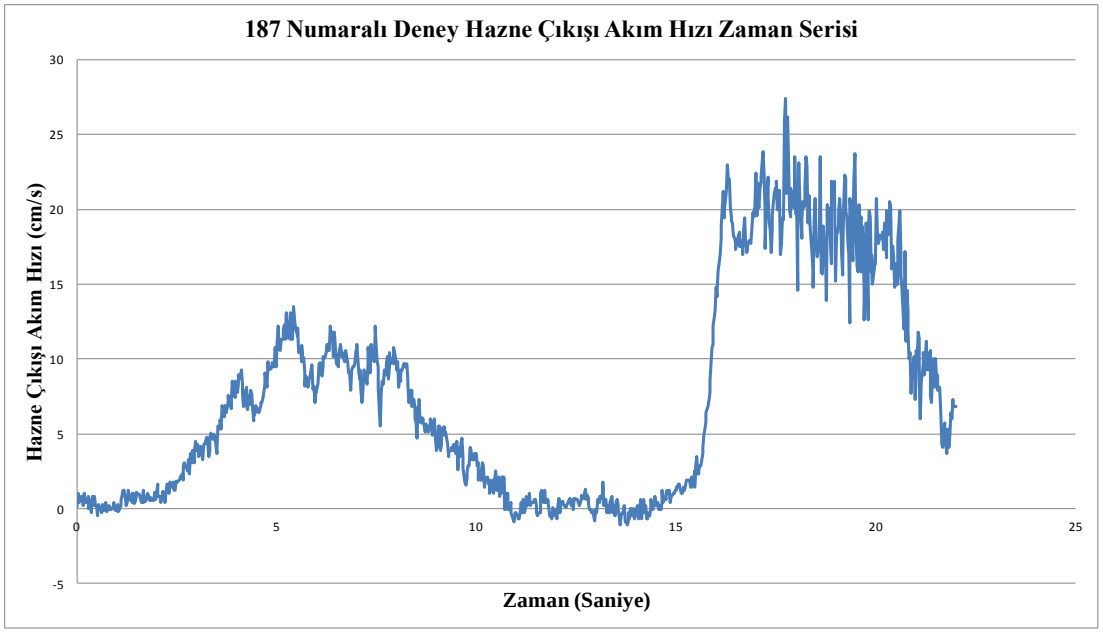
Şekil B.8 : 178 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



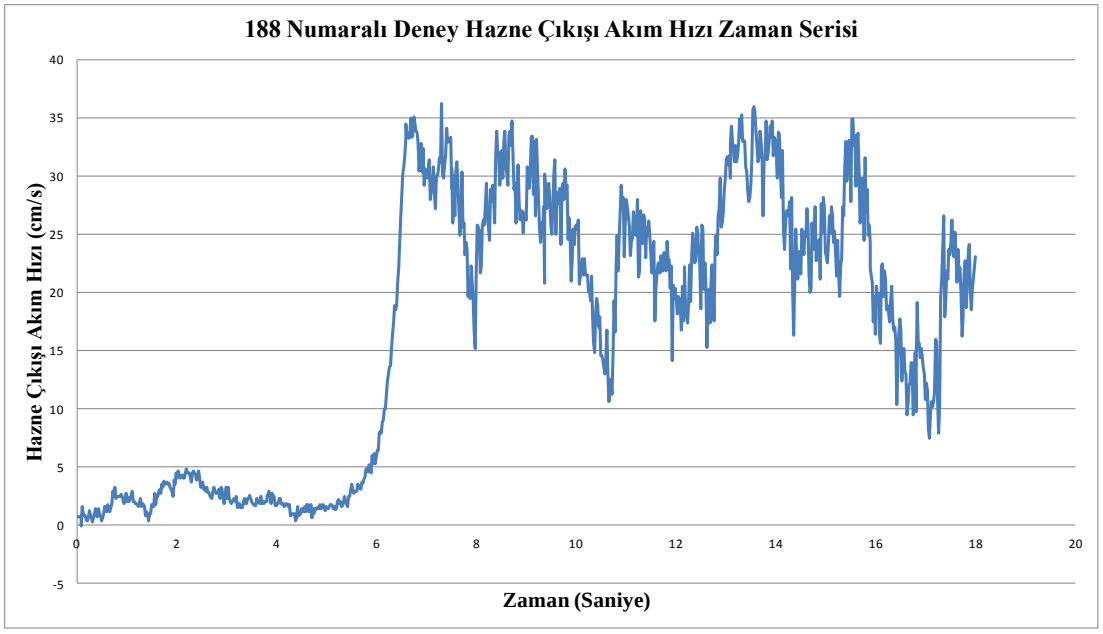
Şekil B.9 : 185 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



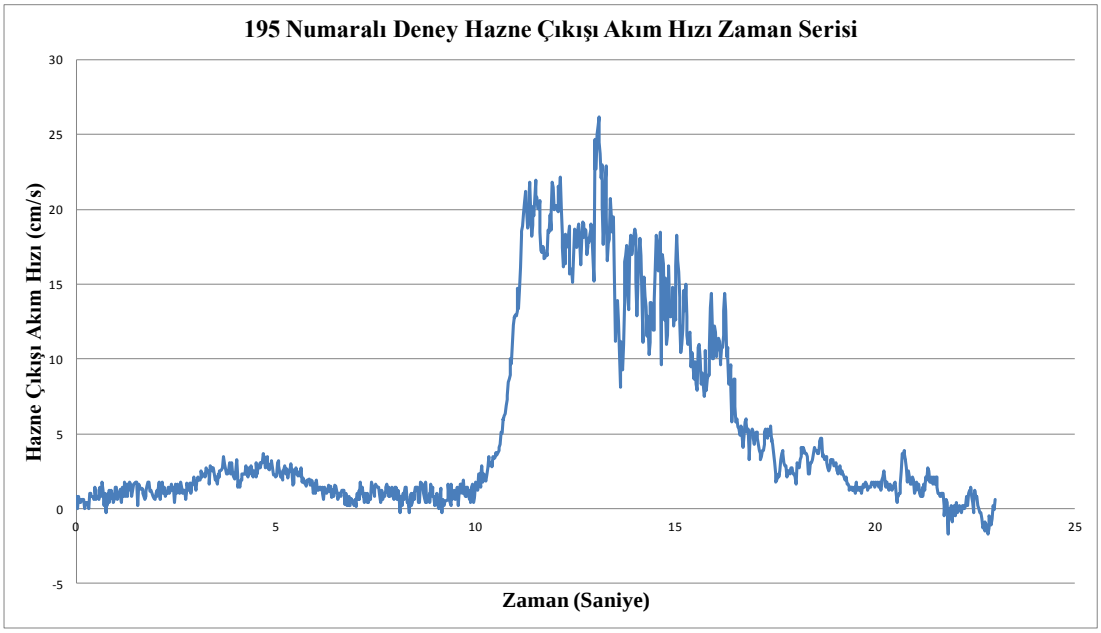
Şekil B.10 : 186 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



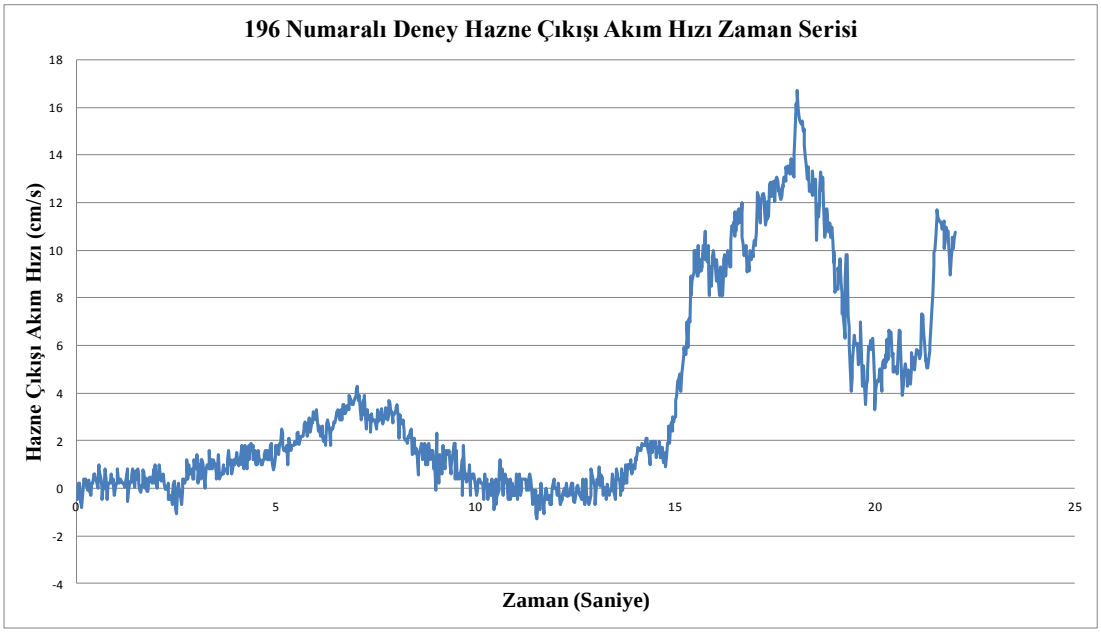
Şekil B.11 : 187 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



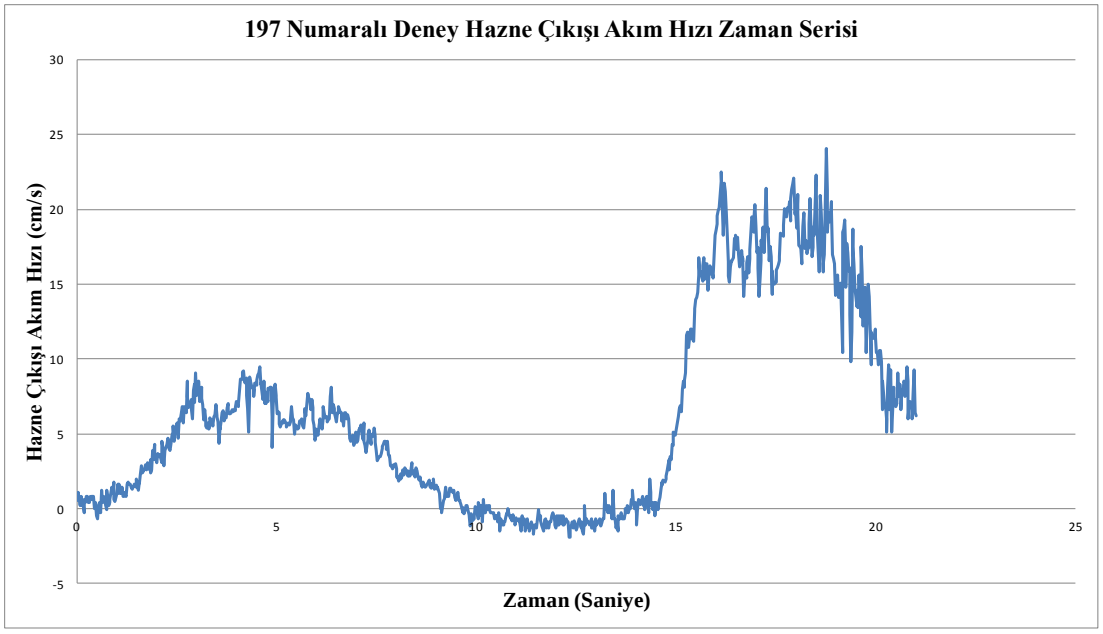
Şekil B.12 : 188 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



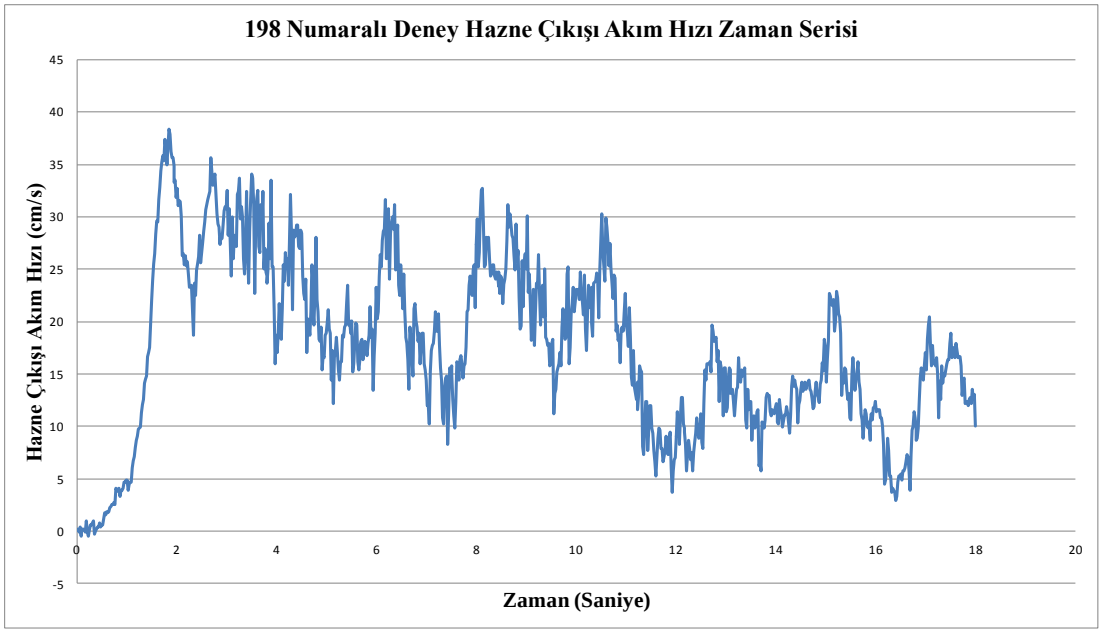
Şekil B.13 : 195 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



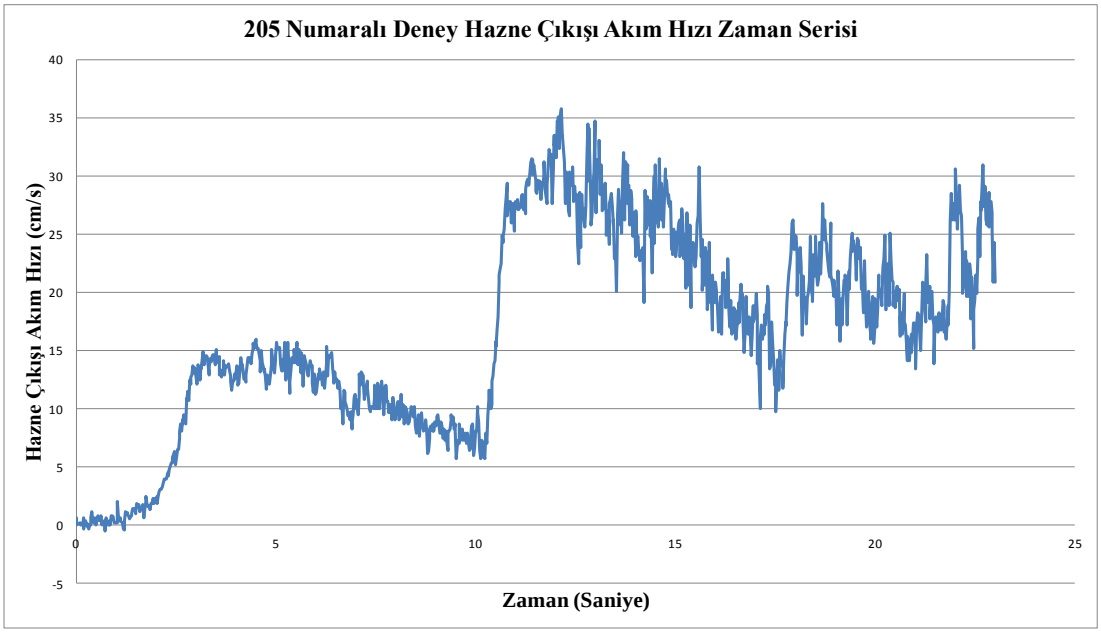
Şekil B.14 : 196 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



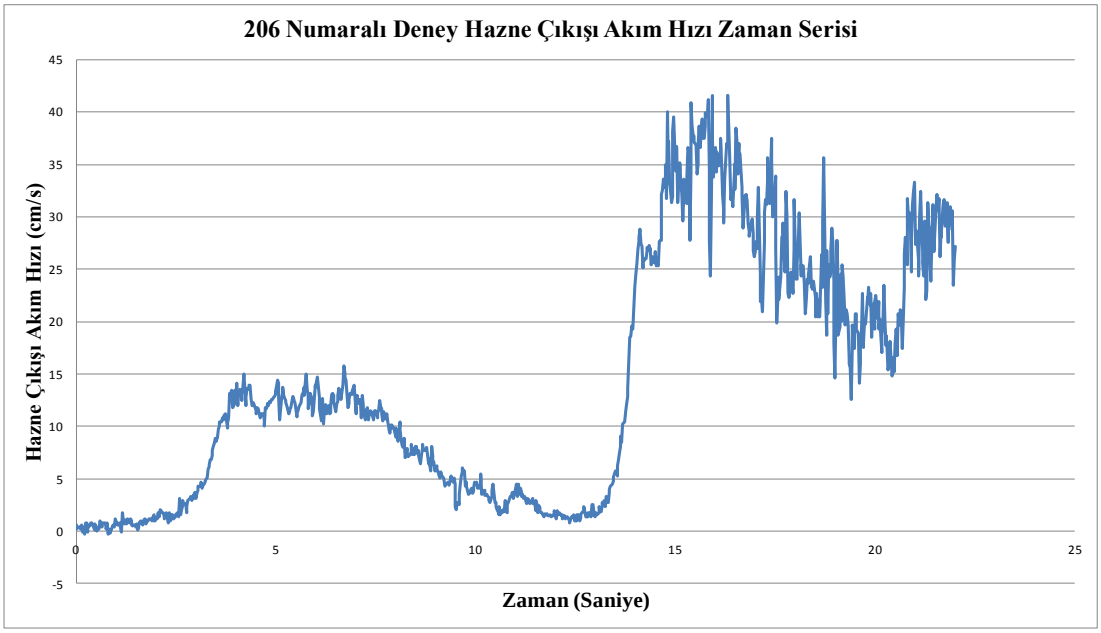
Şekil B.15 : 197 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



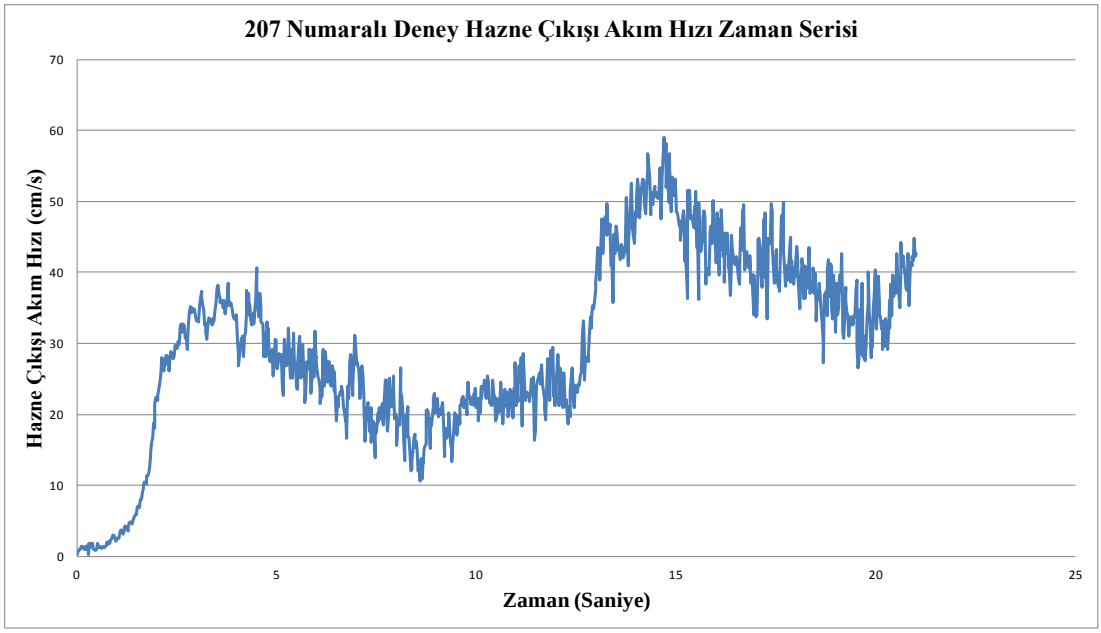
Şekil B.16 : 198 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



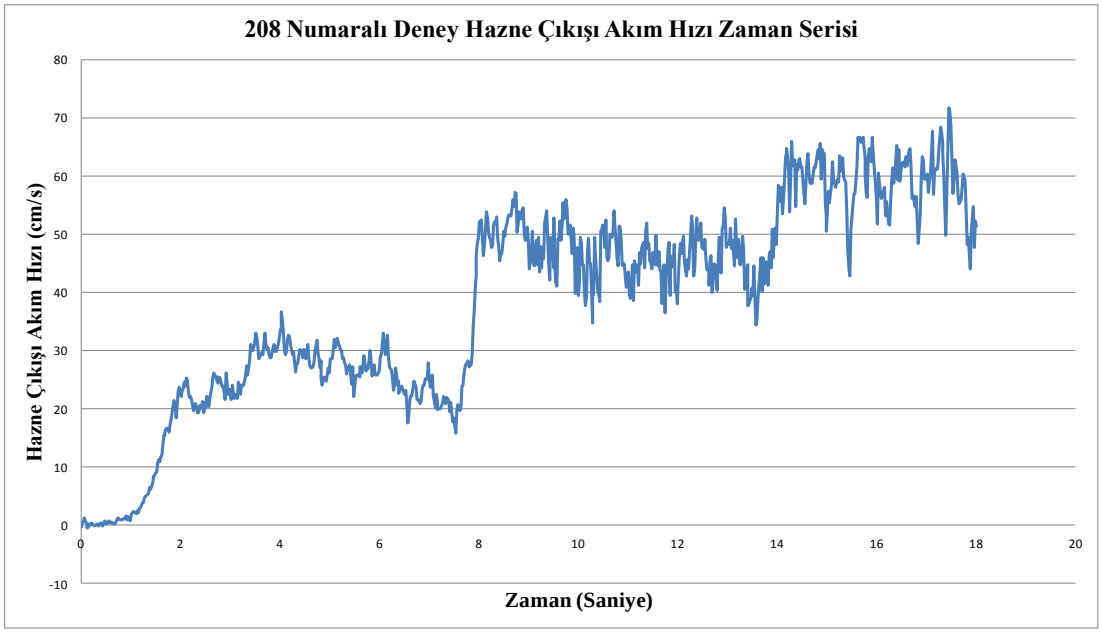
Şekil B.17 : 205 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



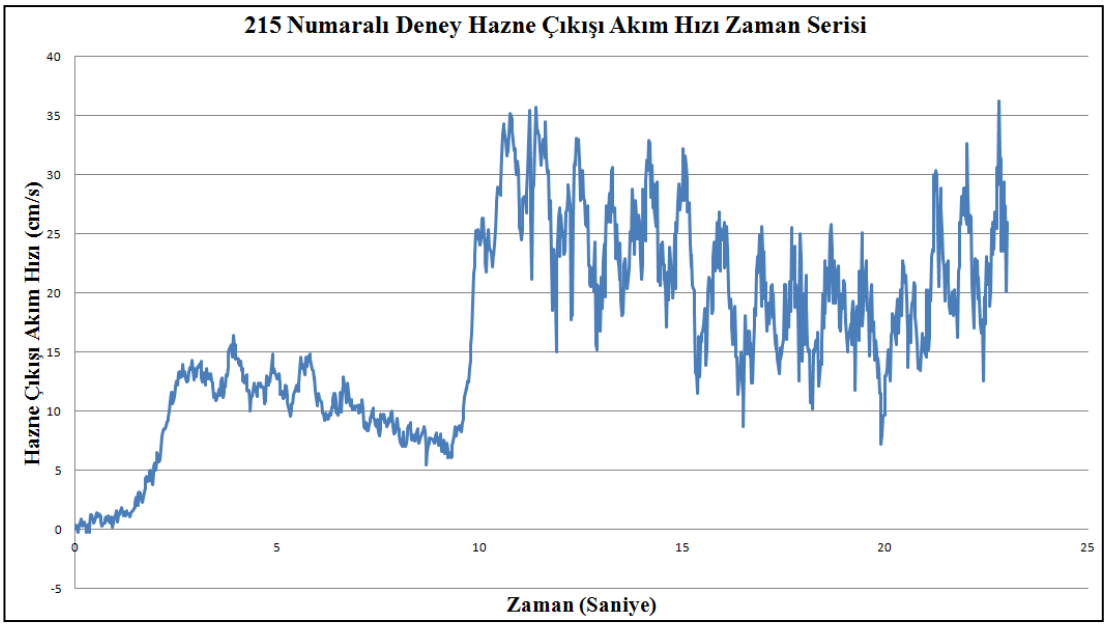
Şekil B.18 : 206 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



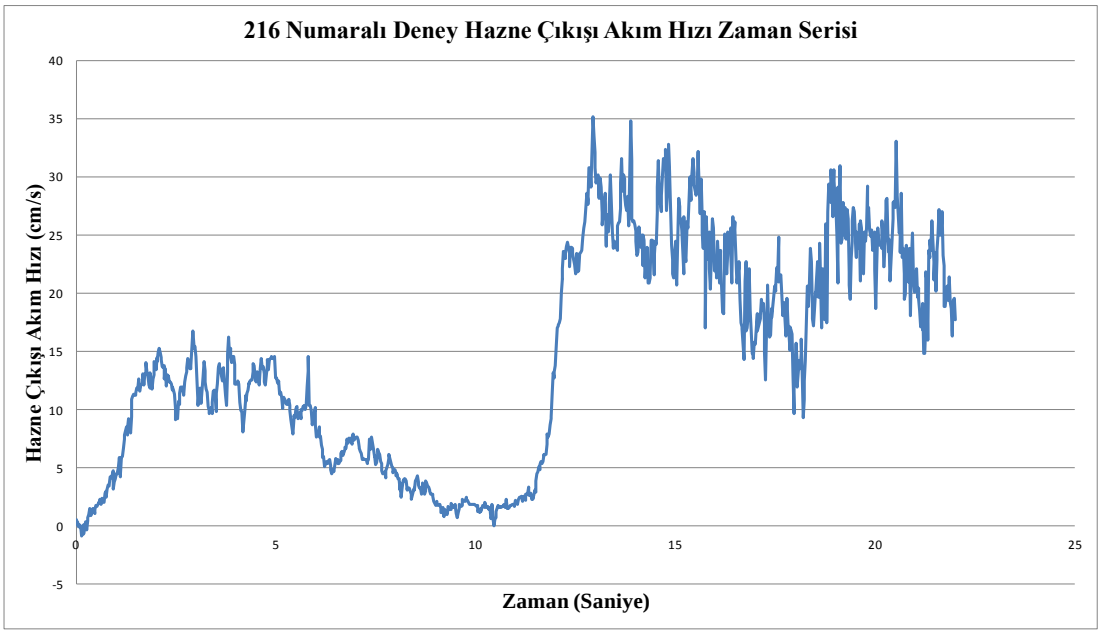
Şekil B.19 : 207 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



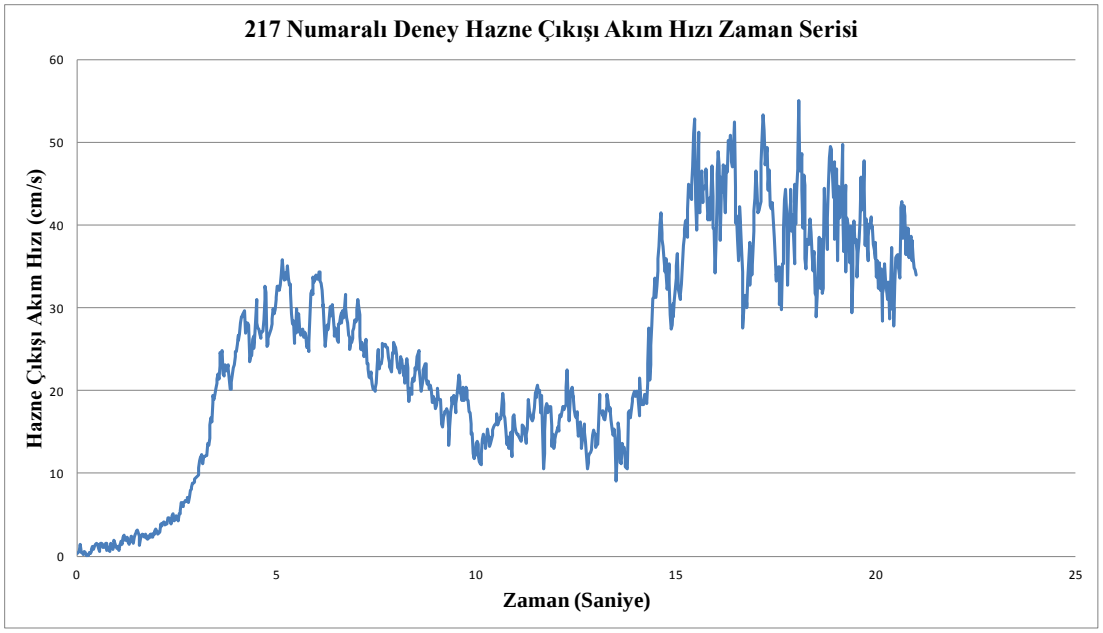
Şekil B.20 : 208 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



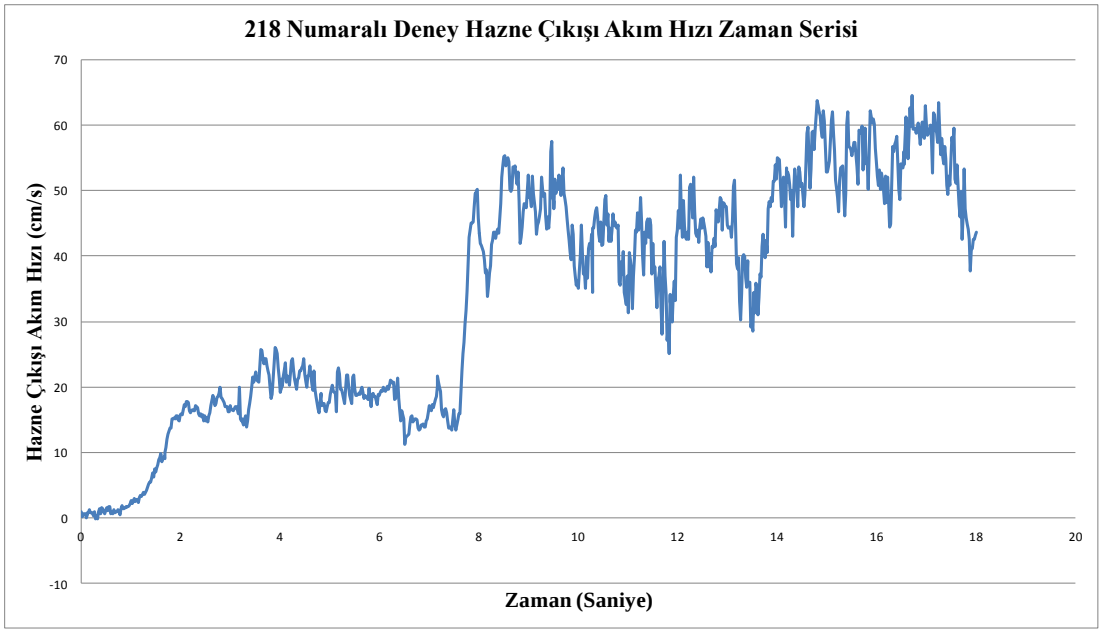
Şekil B.21 : 215 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



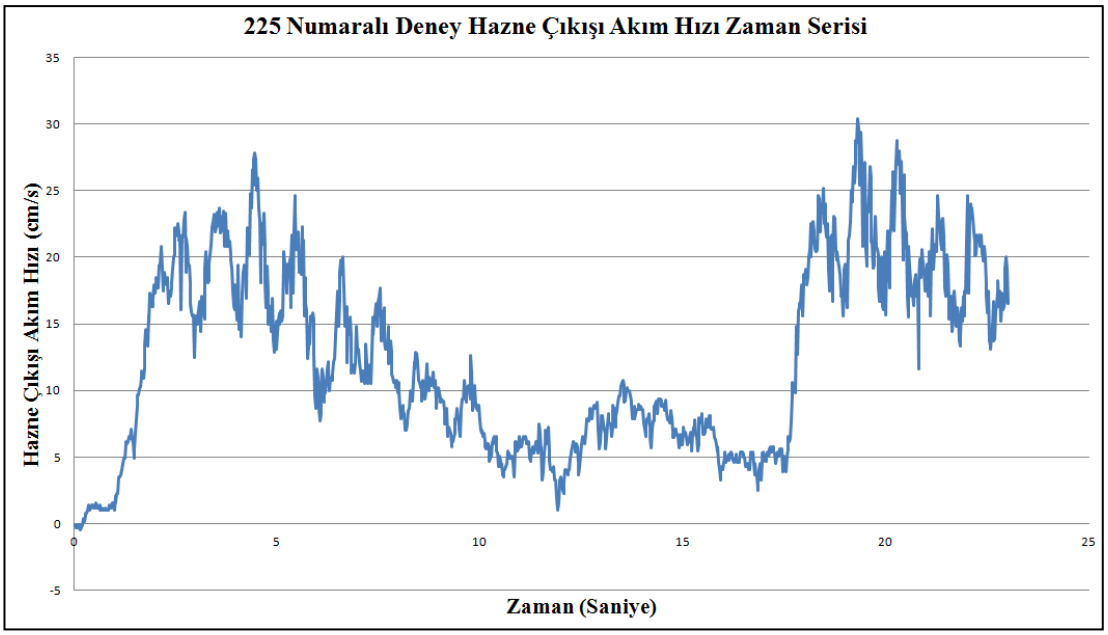
Şekil B.22 : 216 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



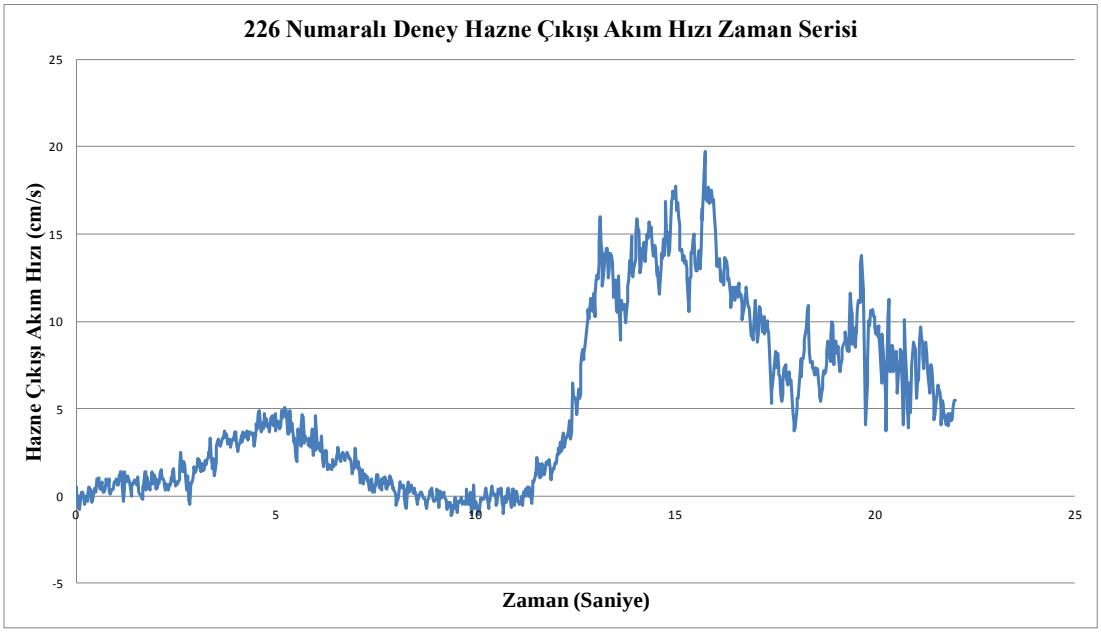
Şekil B.23 : 217 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



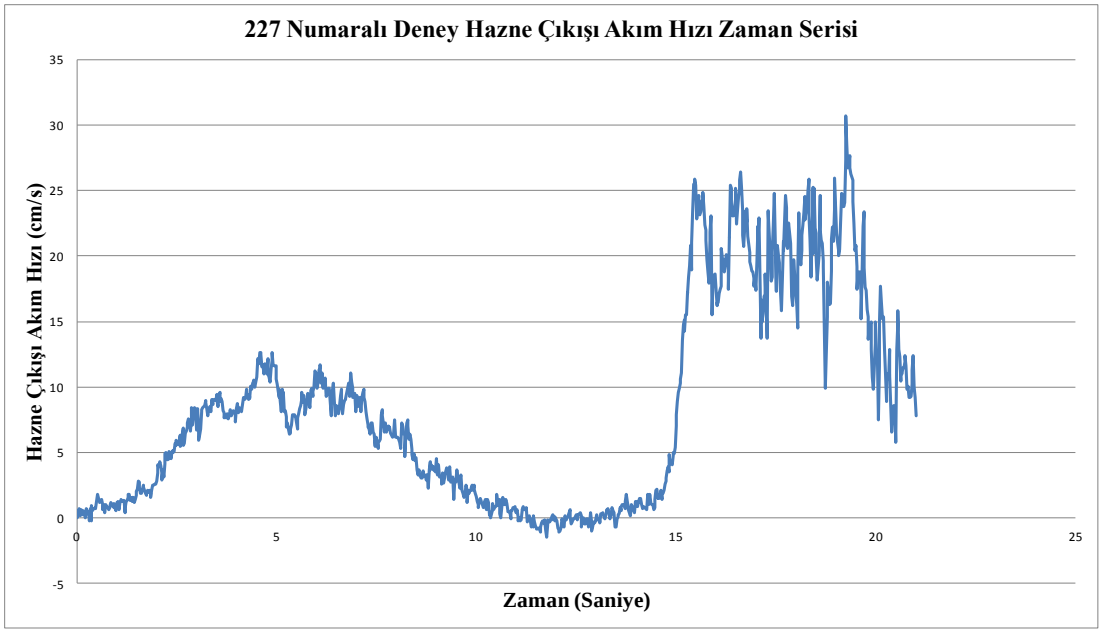
Şekil B.24 : 218 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



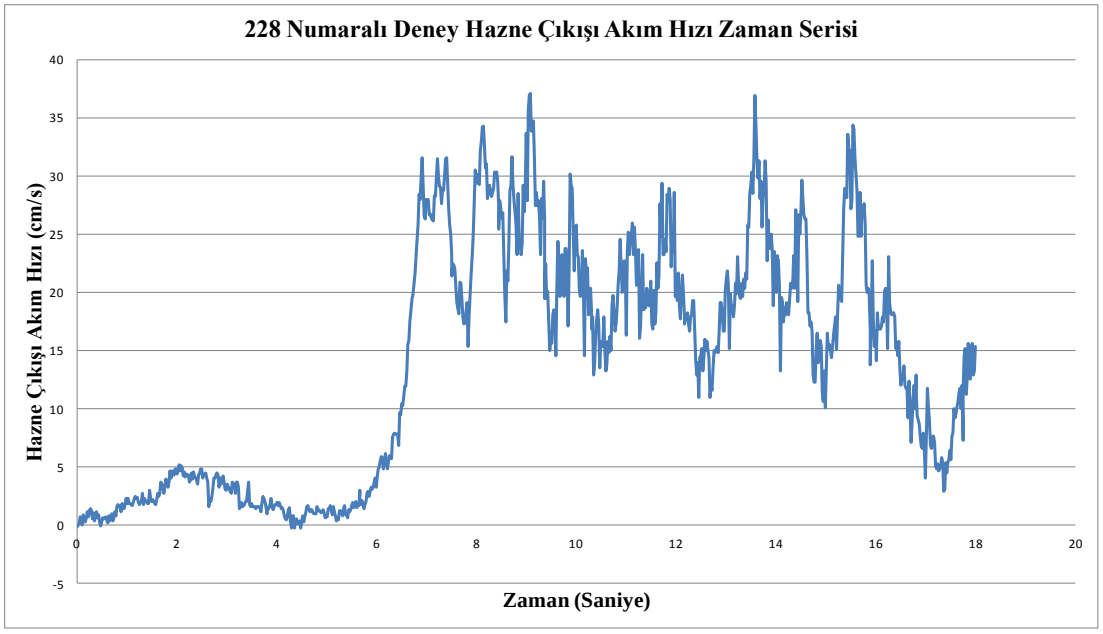
Şekil B.25 : 225 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



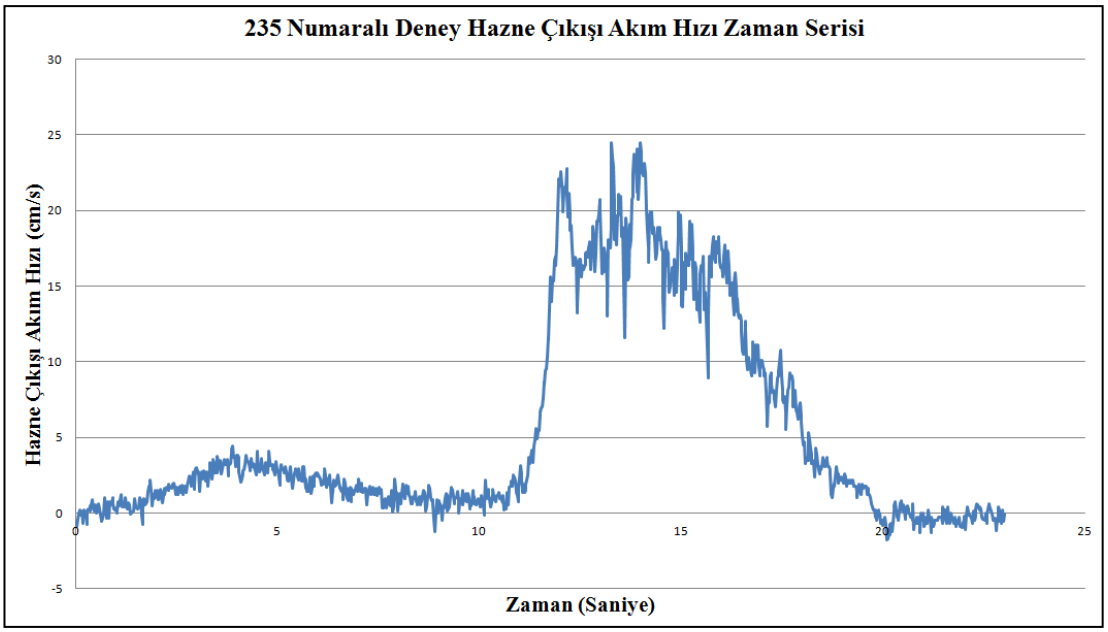
Şekil B.26 : 226 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



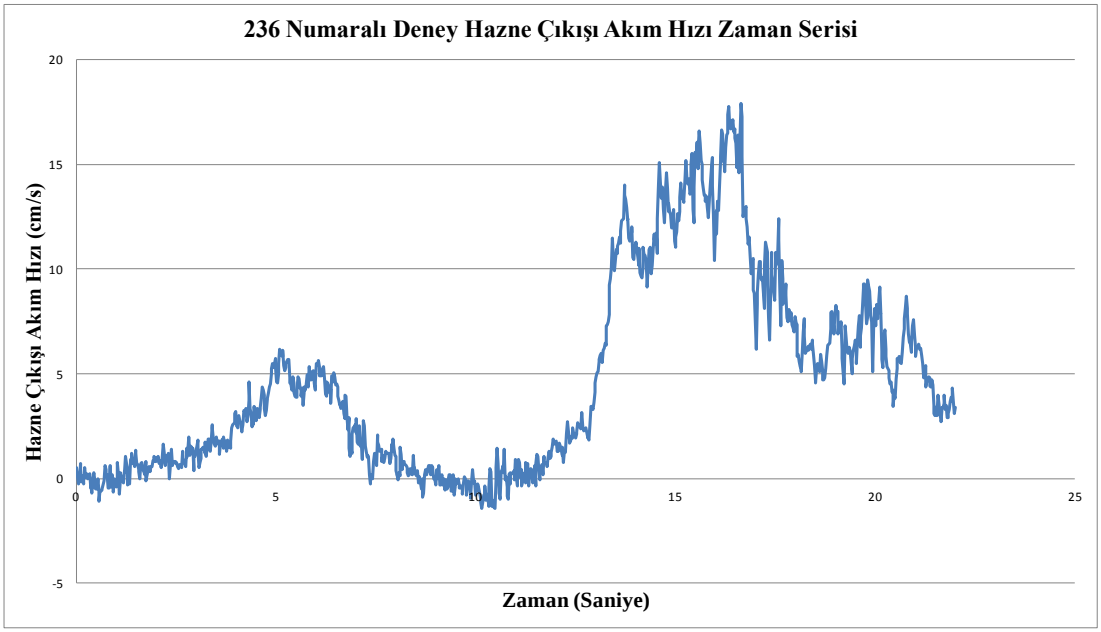
Şekil B.27 : 227 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



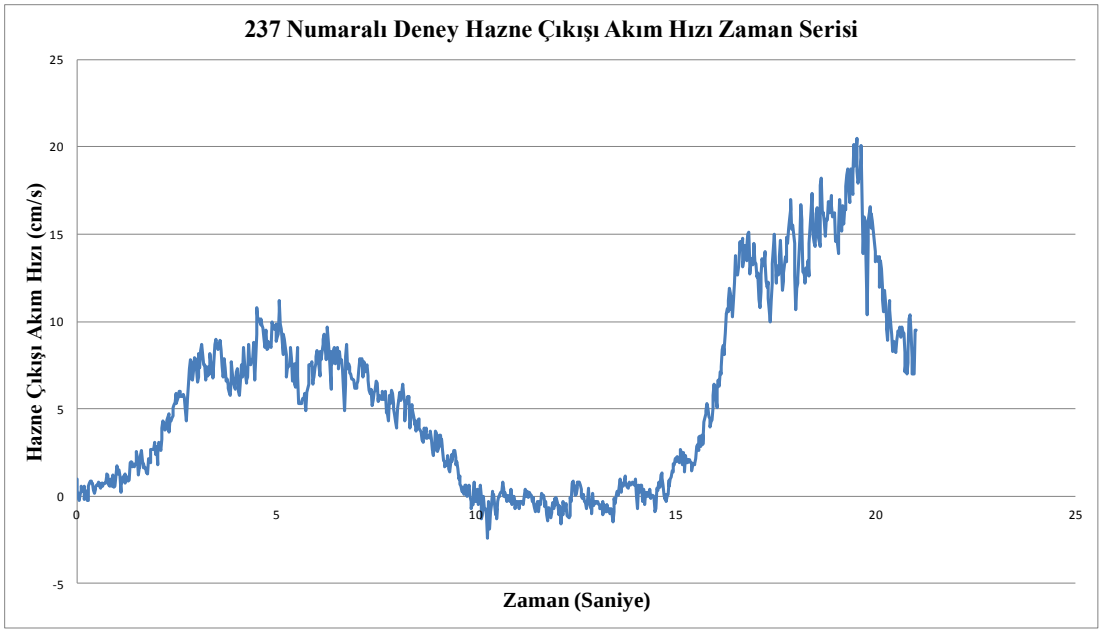
Şekil B.28 : 228 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



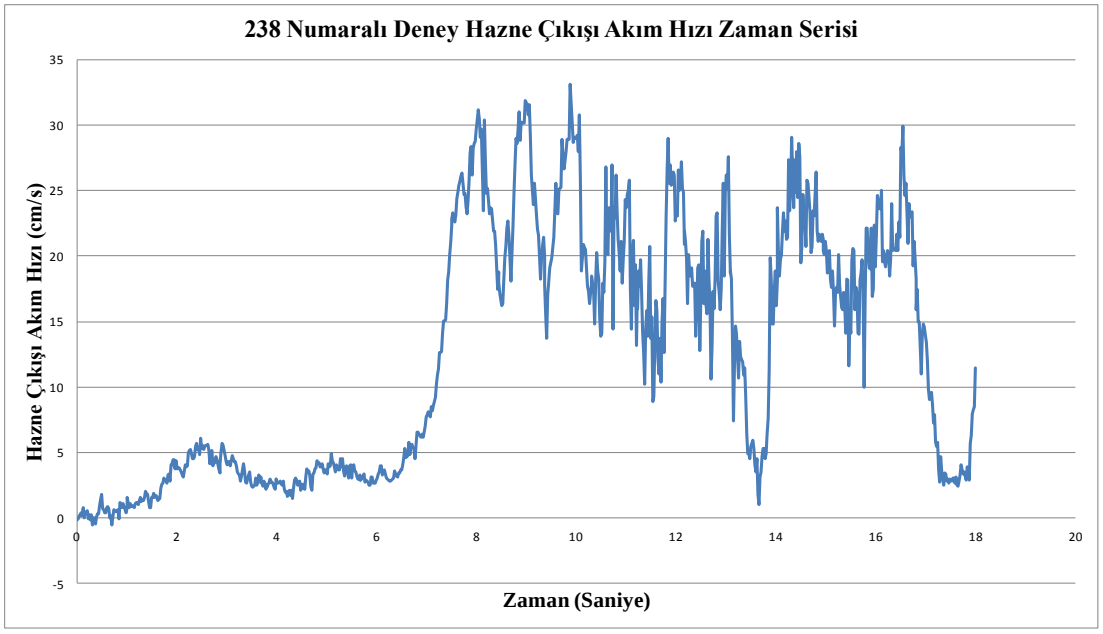
Şekil B.29 : 235 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



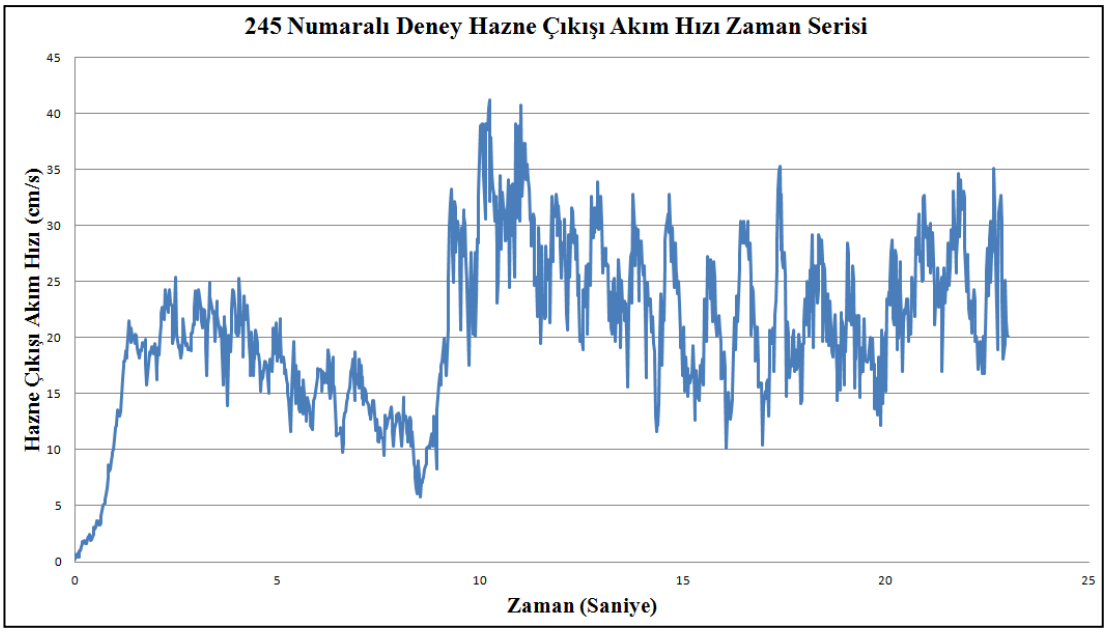
Şekil B.30 : 236 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



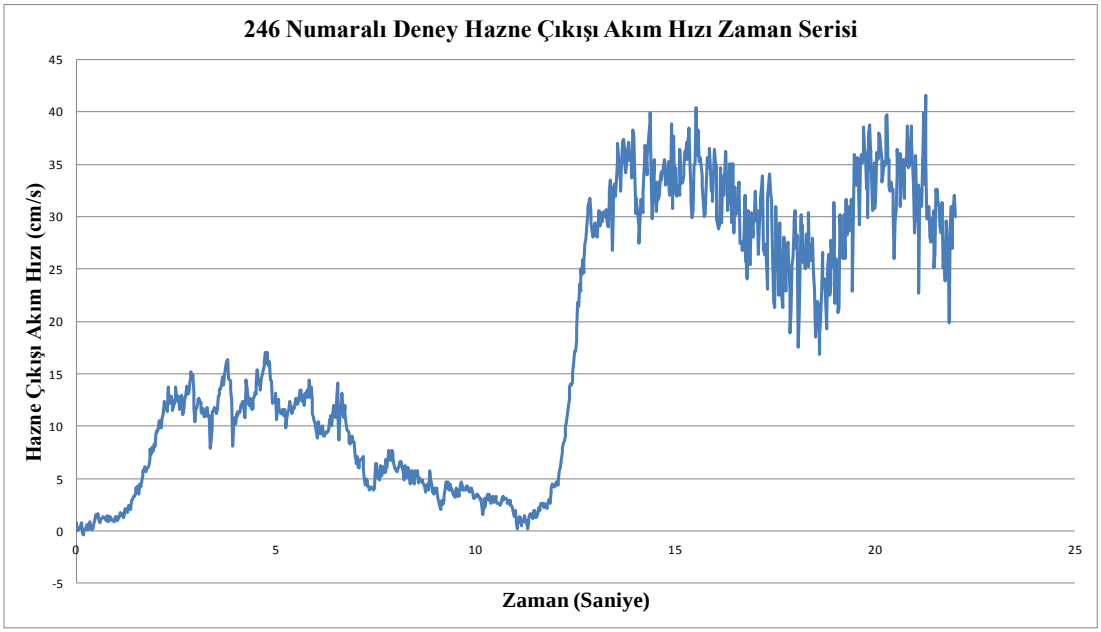
Şekil B.31 : 237 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



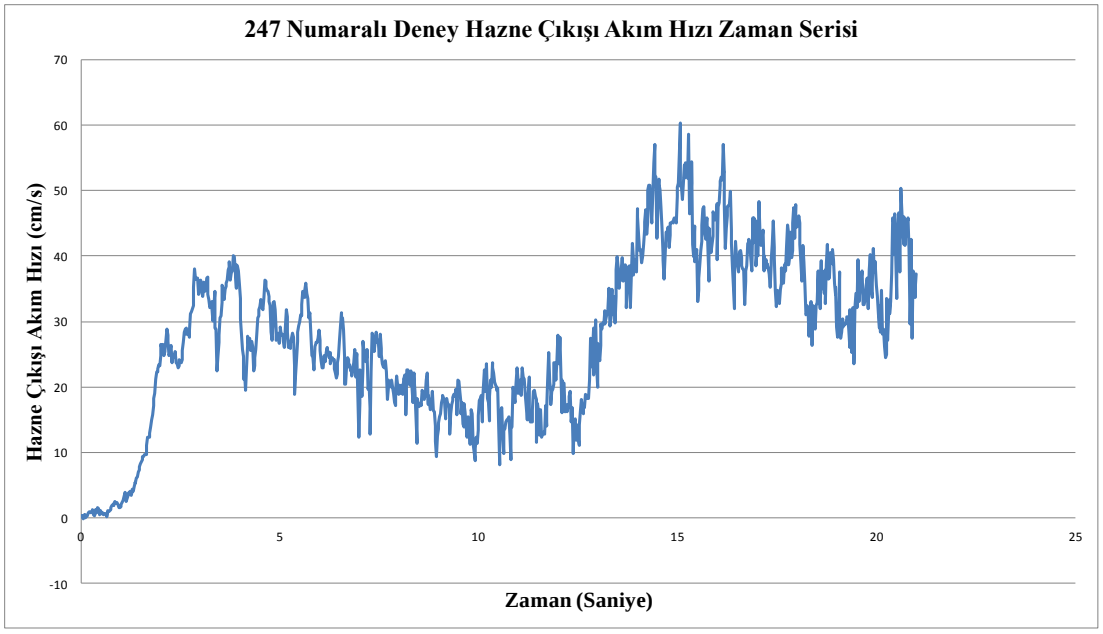
Şekil B.32 : 238 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



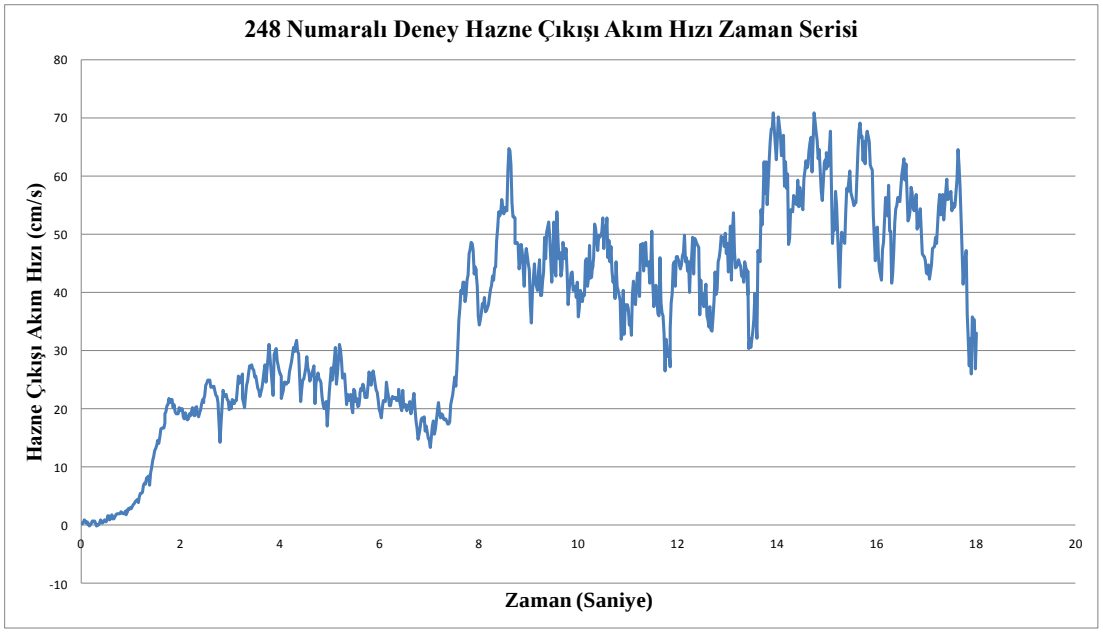
Şekil B.33 : 245 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



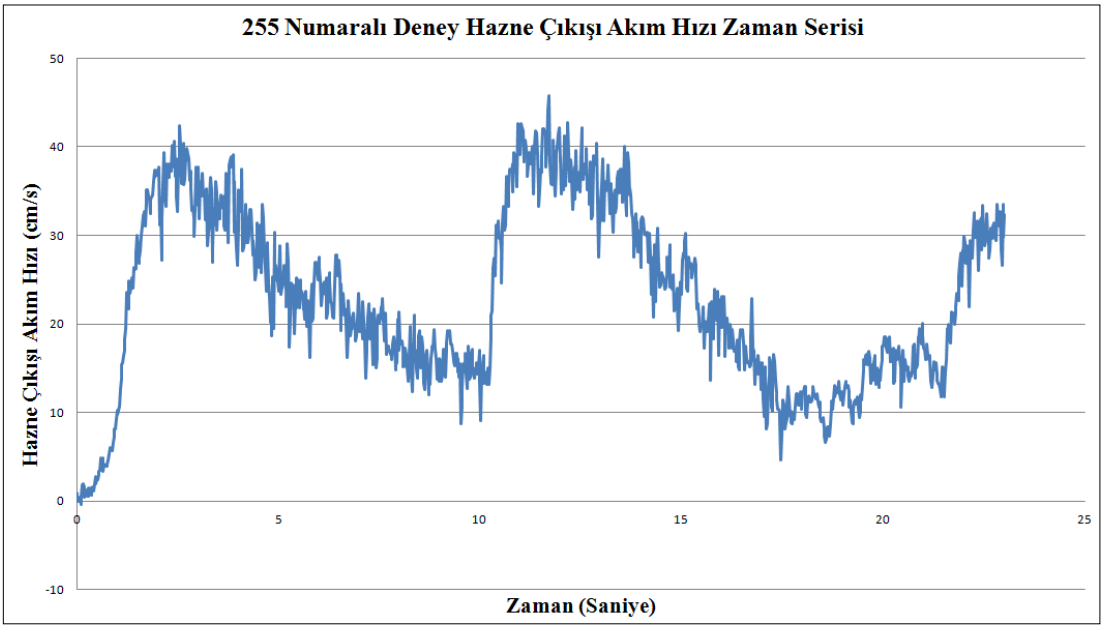
Şekil B.34 : 246 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



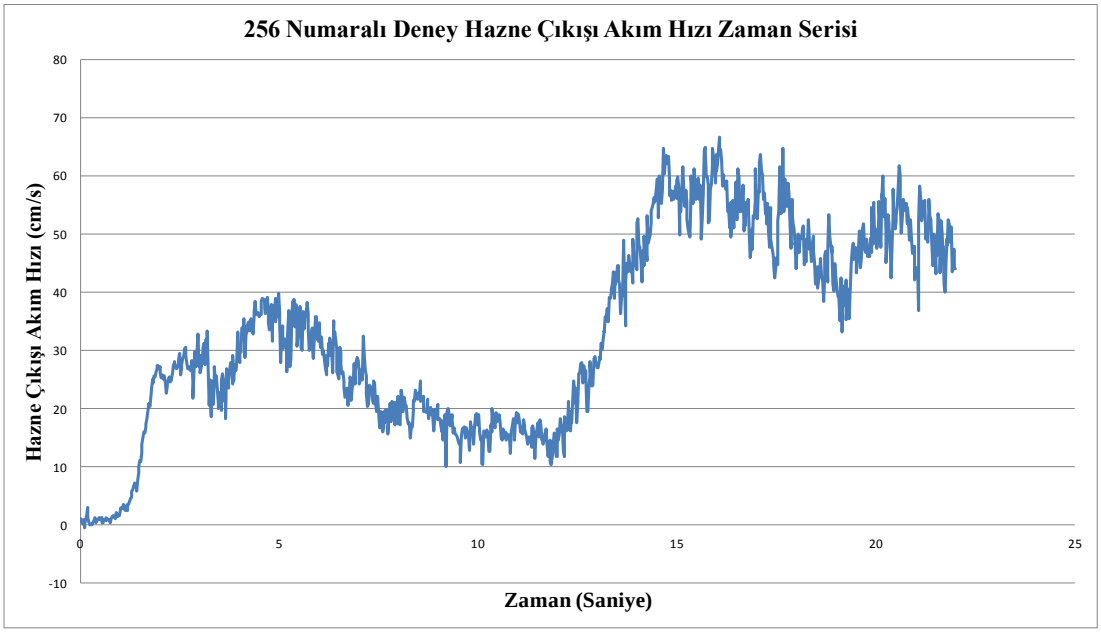
Şekil B.35 : 247 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



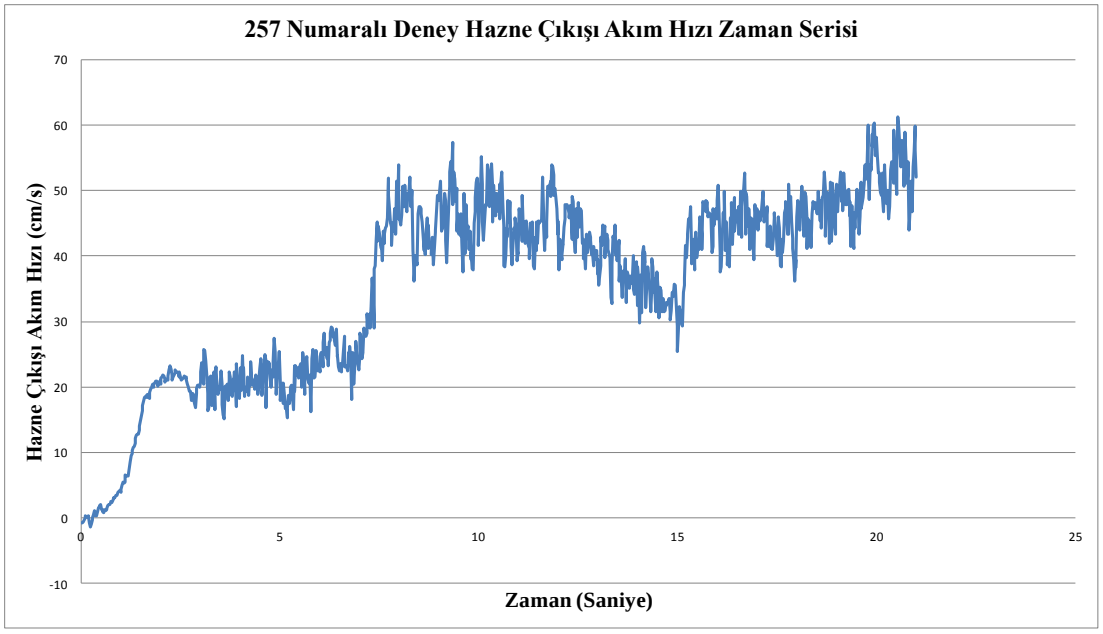
Şekil B.36 : 248 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



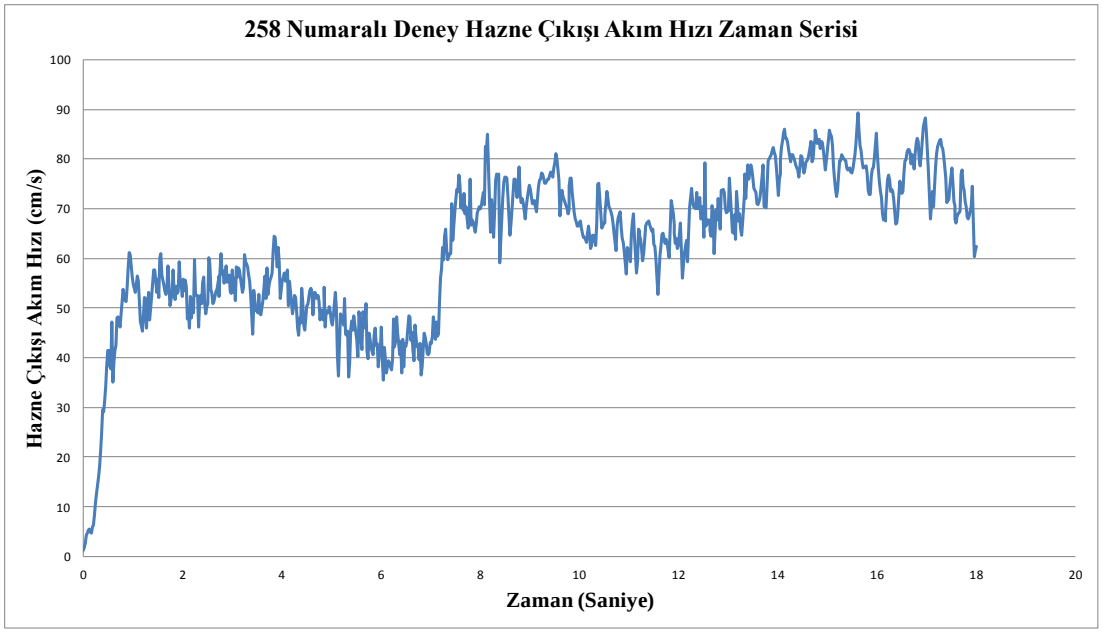
Şekil B.37 : 255 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



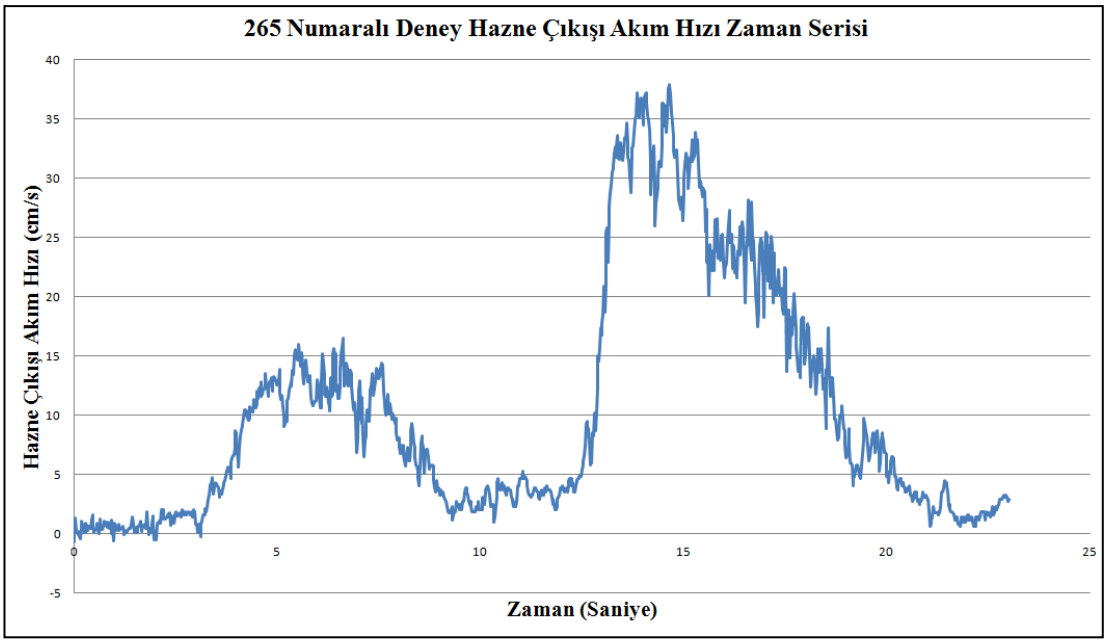
Şekil B.38 : 256 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



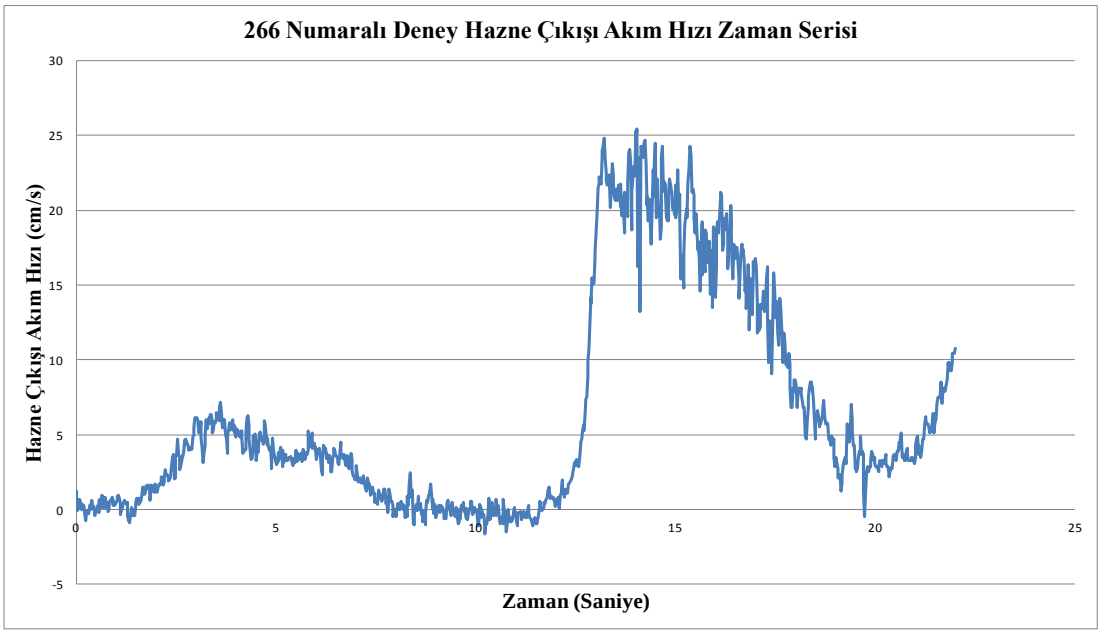
Şekil B.39 : 257 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



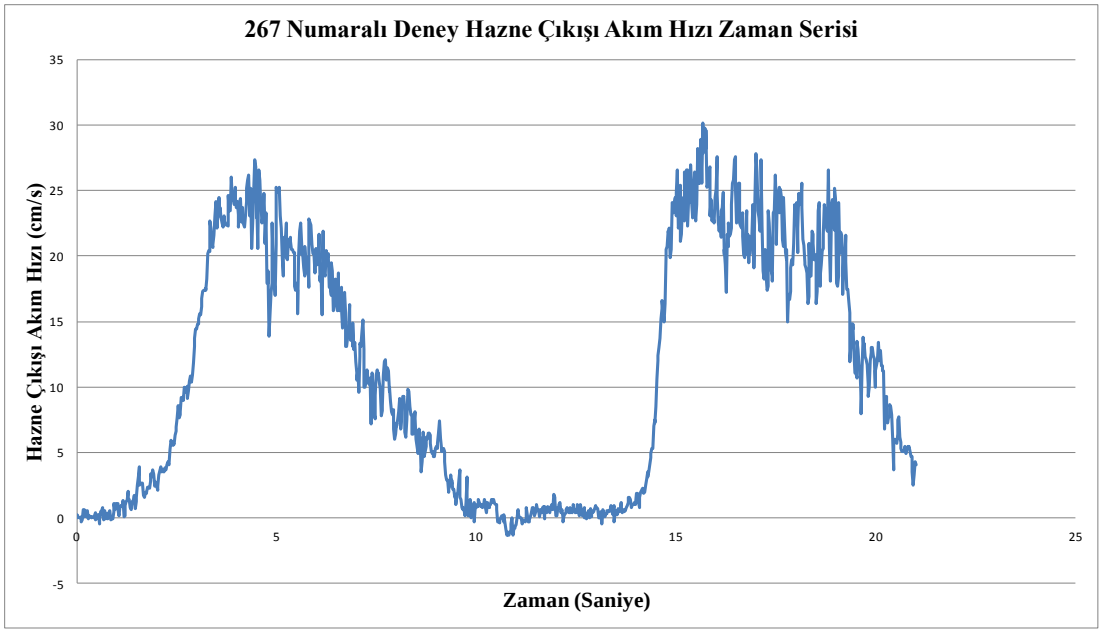
Şekil B.40 : 258 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



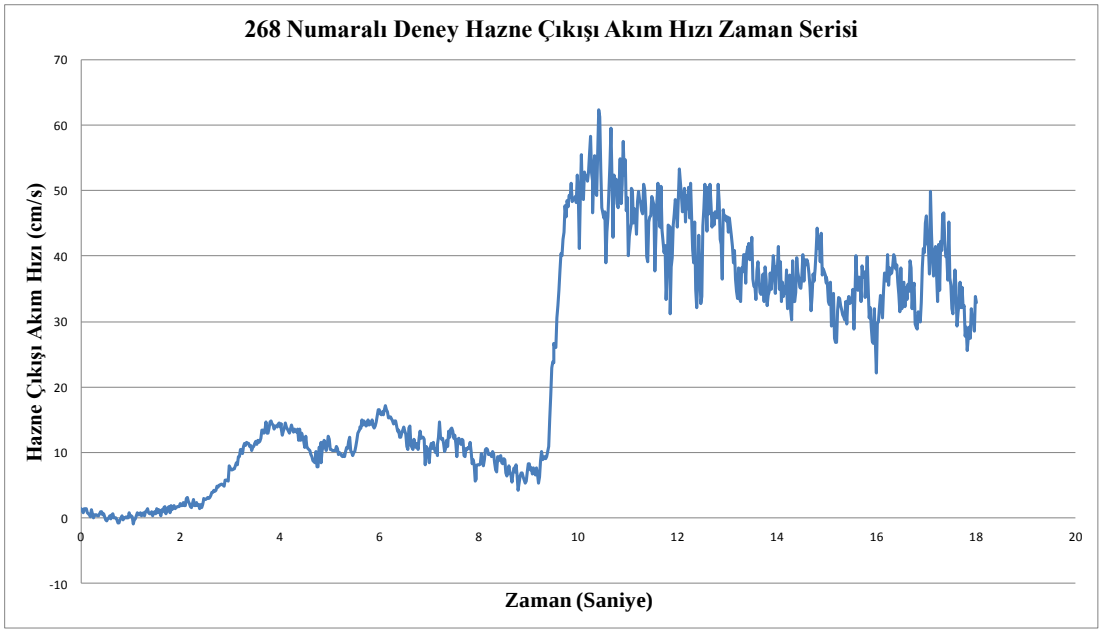
Şekil B.41 : 265 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



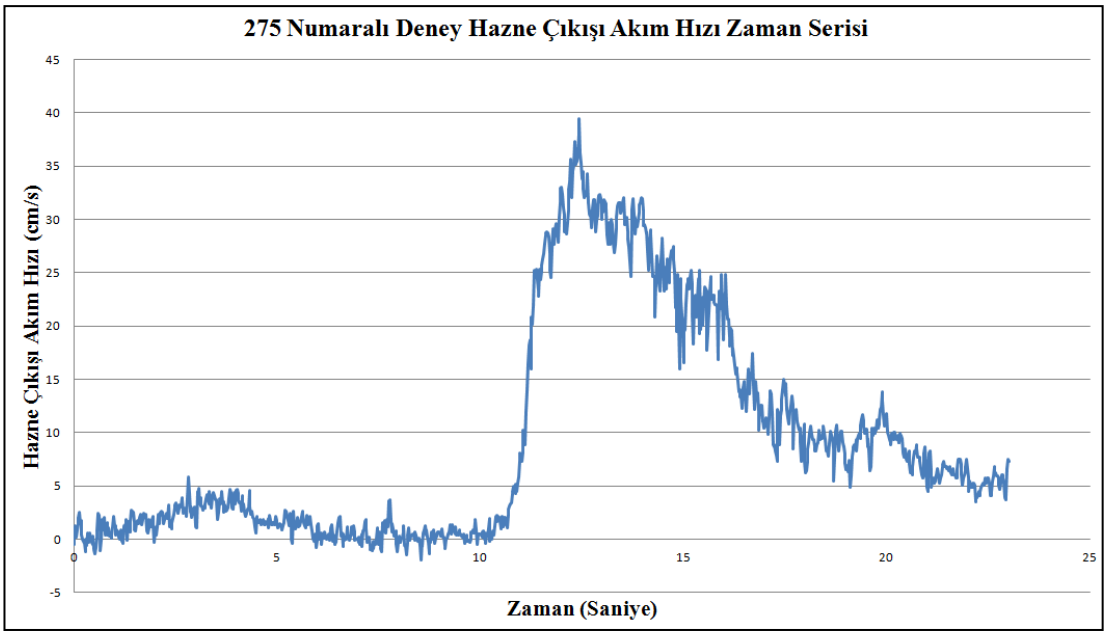
Şekil B.42 : 266 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



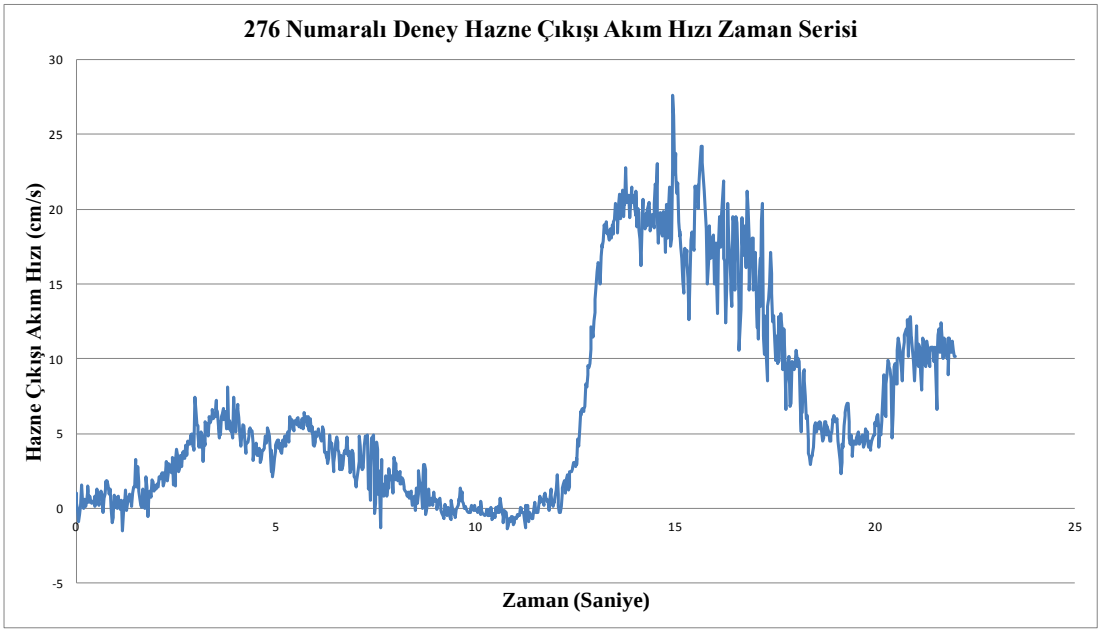
Şekil B.43 : 267 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



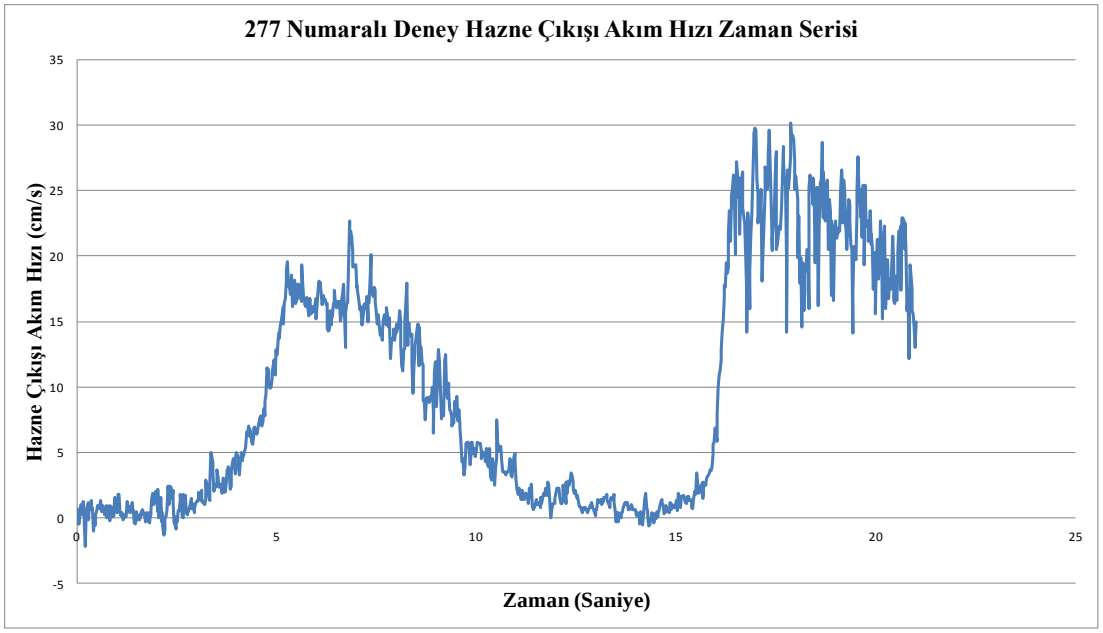
Şekil B.44 : 268 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



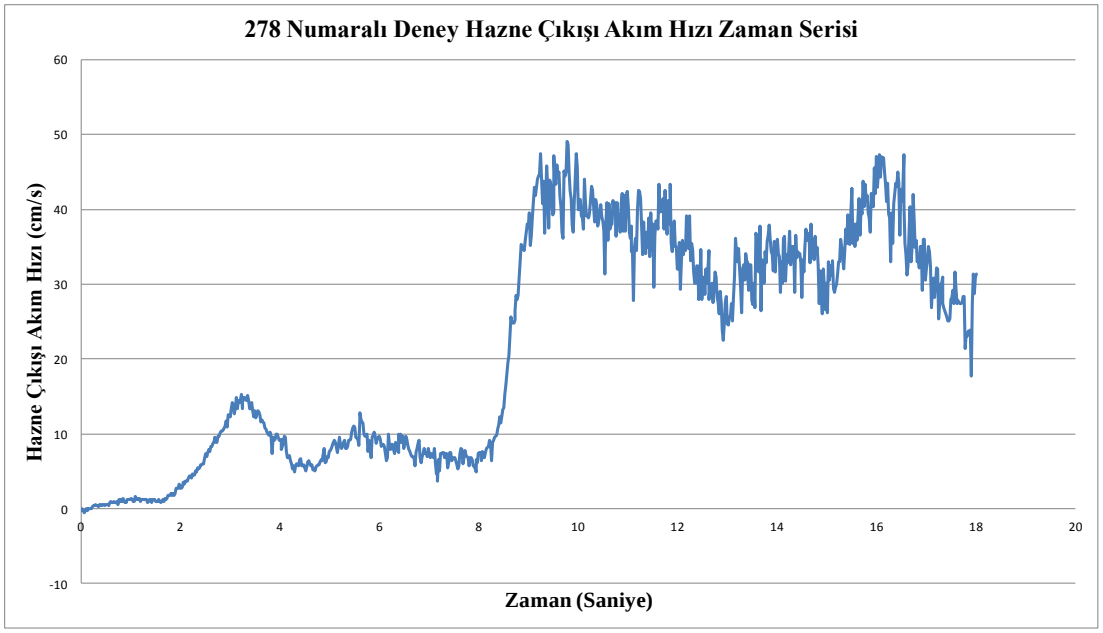
Şekil B.45 : 275 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



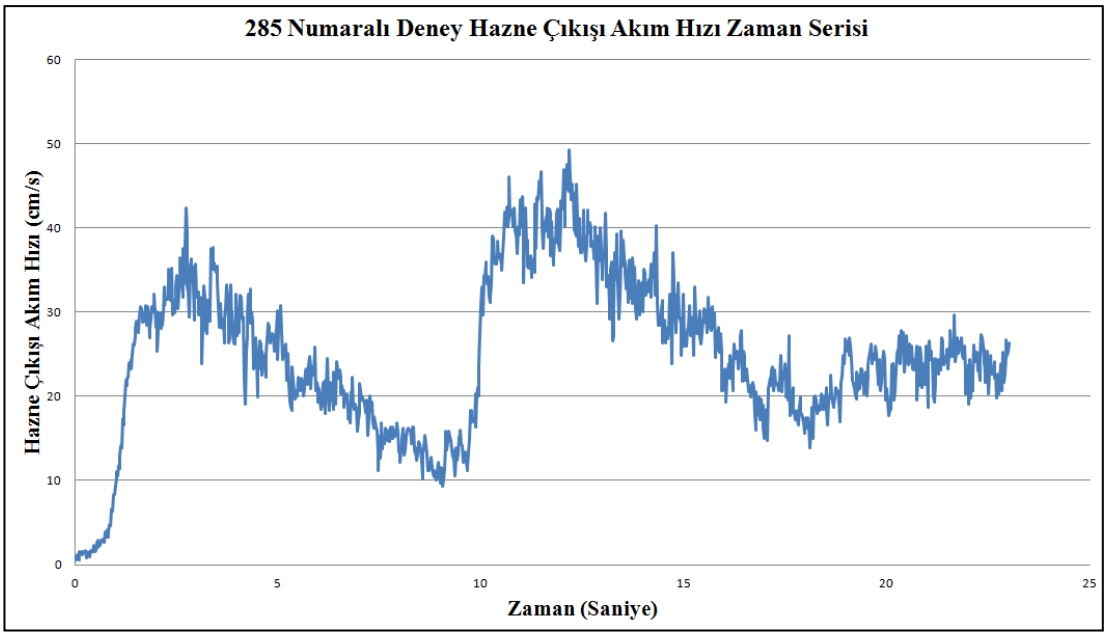
Şekil B.46 : 276 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



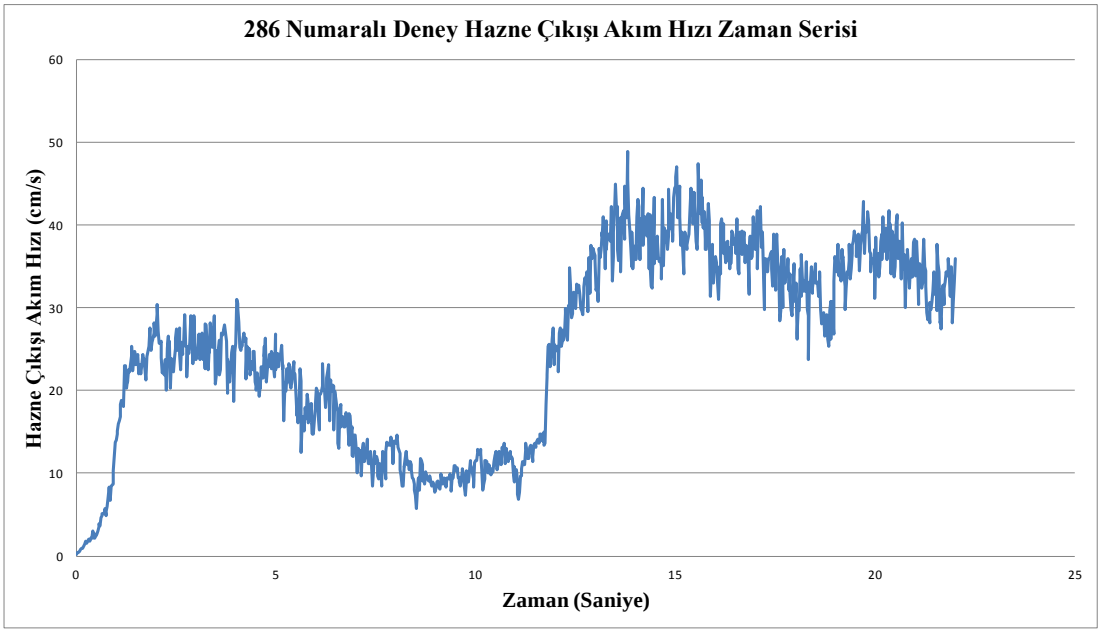
Şekil B.47 : 277 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



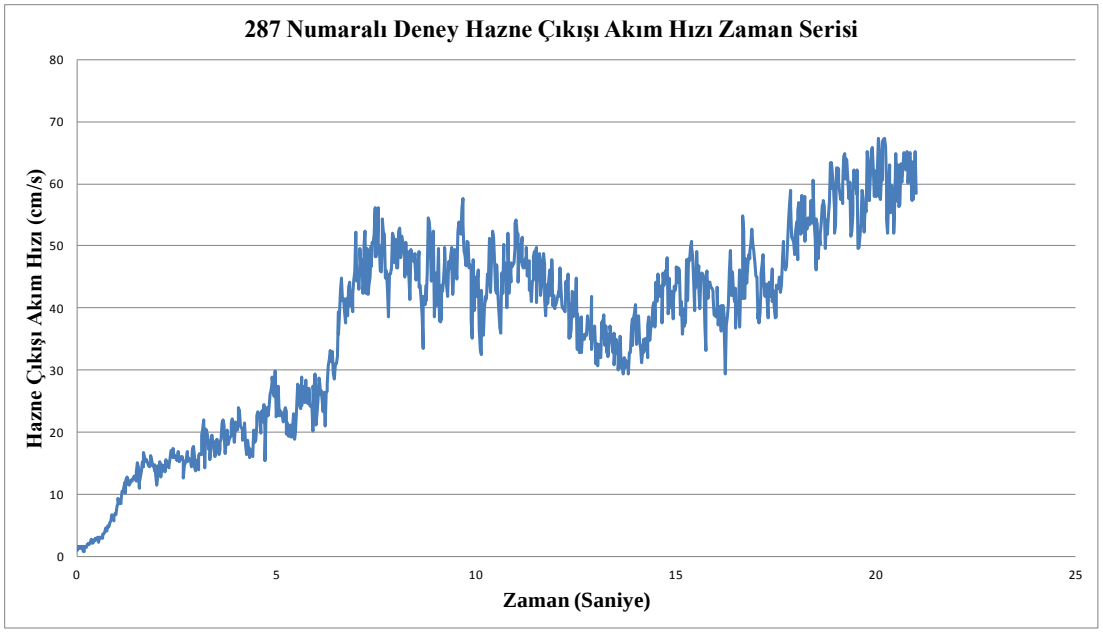
Şekil B.48 : 278 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



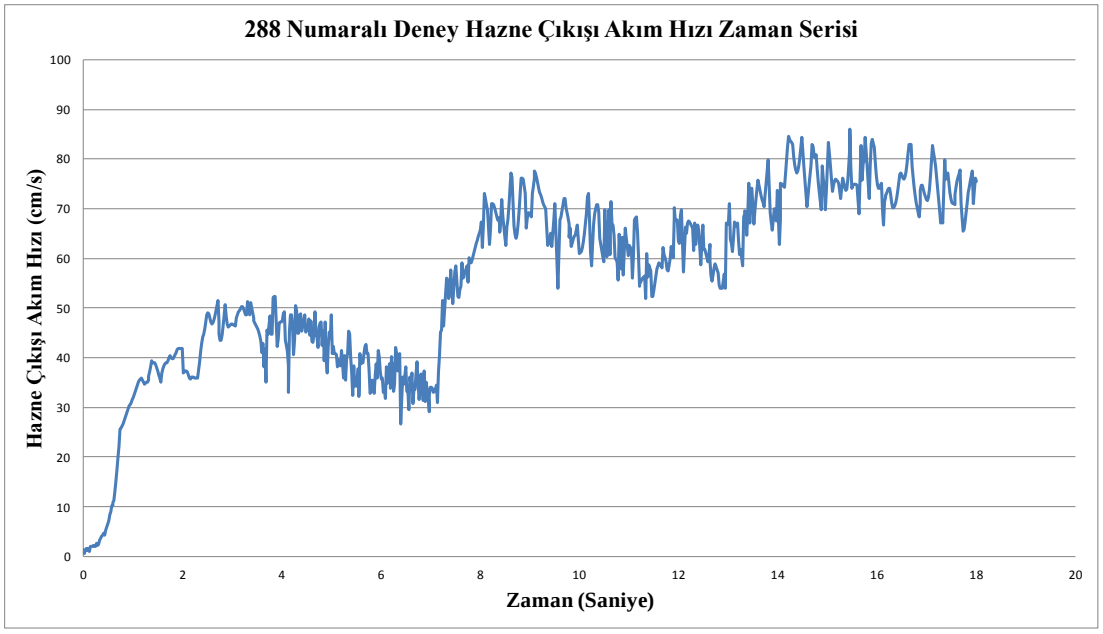
Şekil B.49 : 285 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



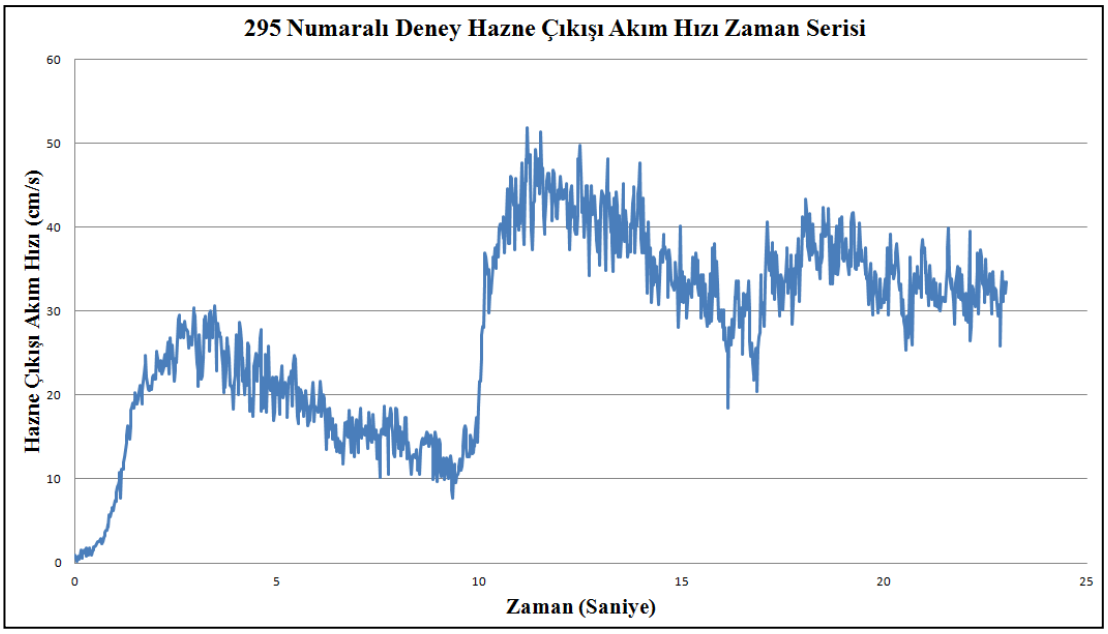
Şekil B.50 : 286 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



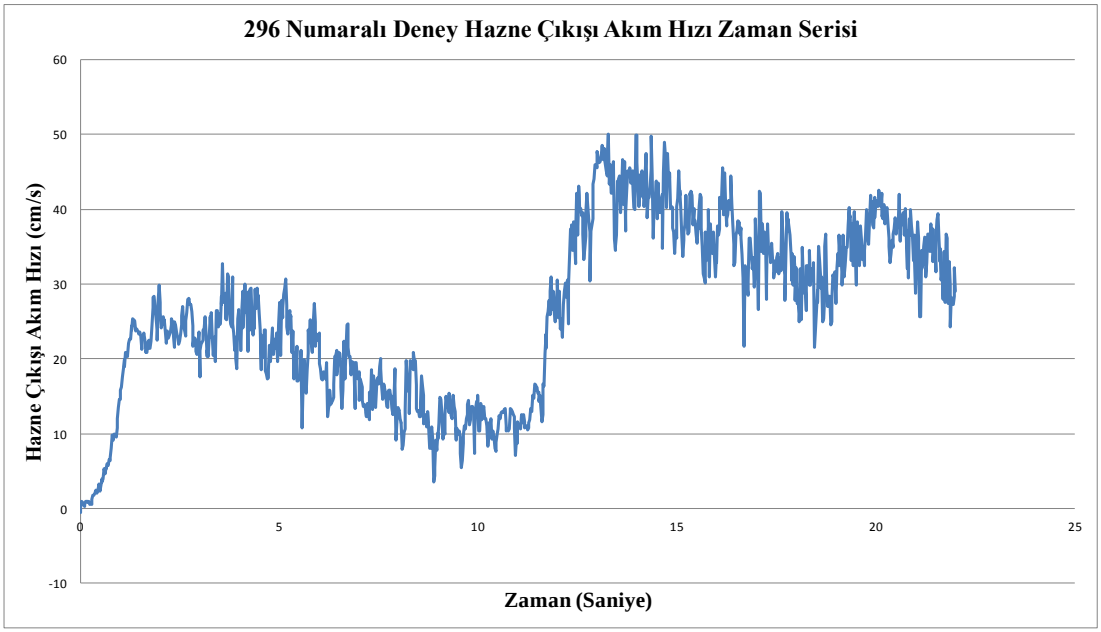
Şekil B.51 : 287 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



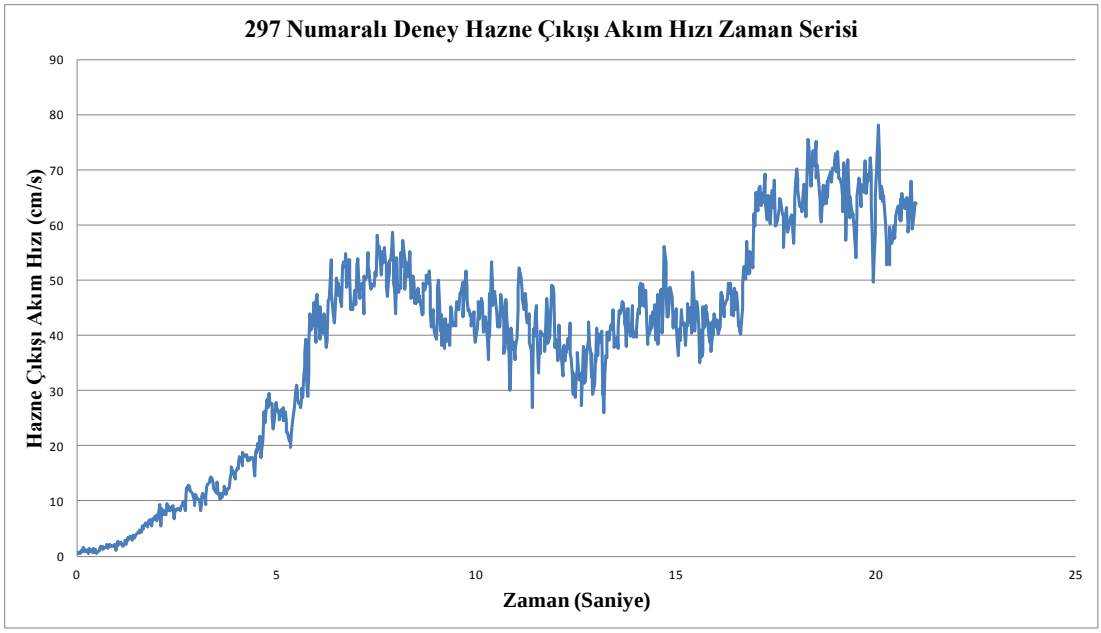
Şekil B.52 : 288 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



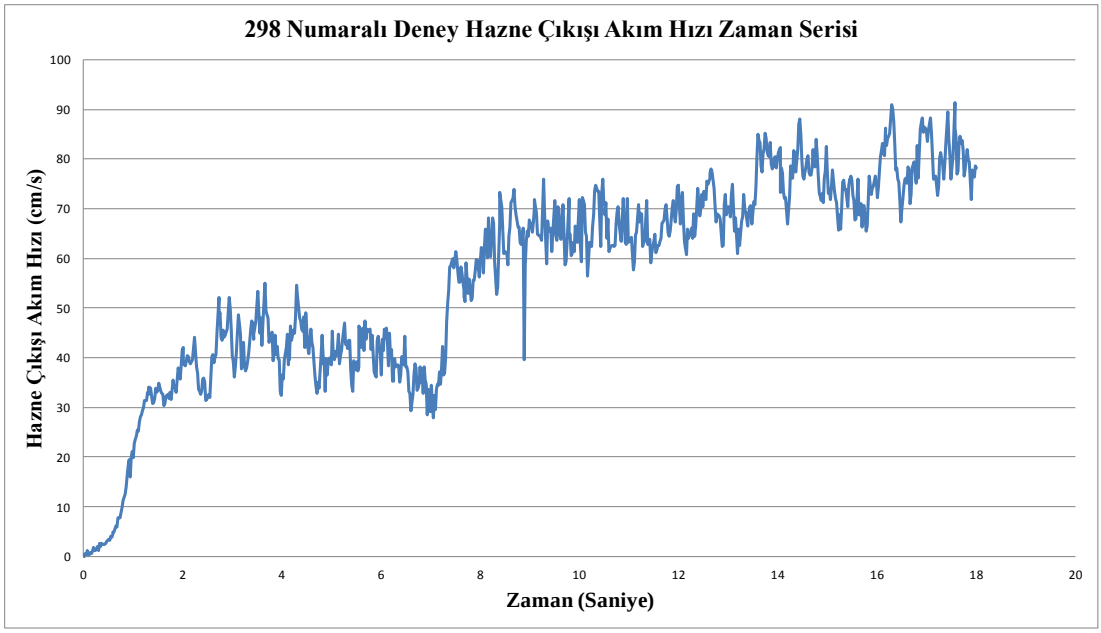
Şekil B.53 : 295 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



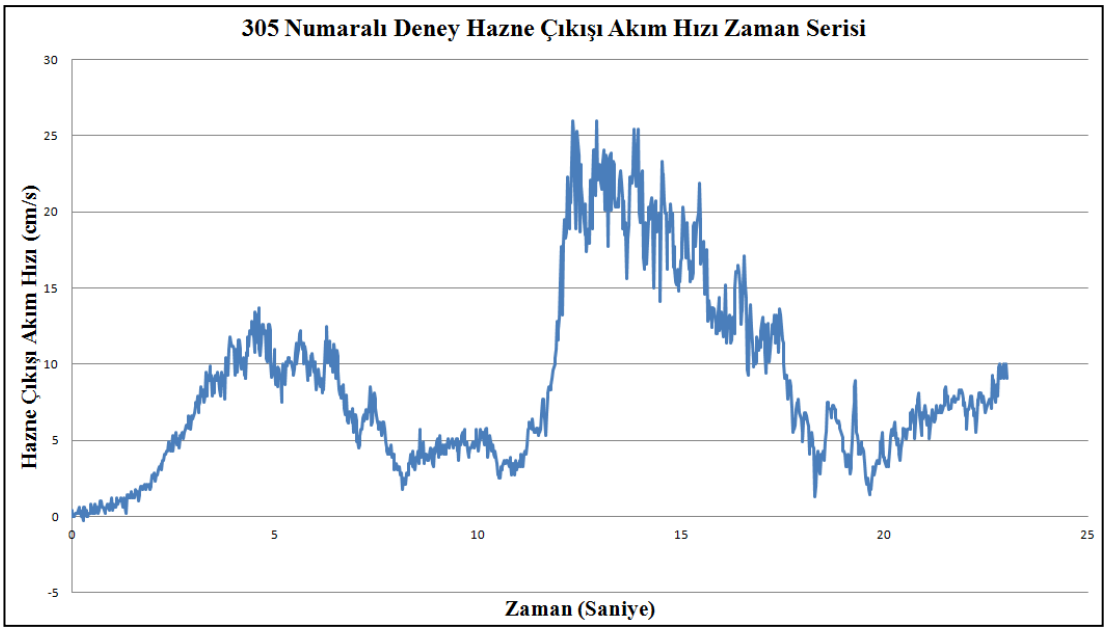
Şekil B.54 : 296 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



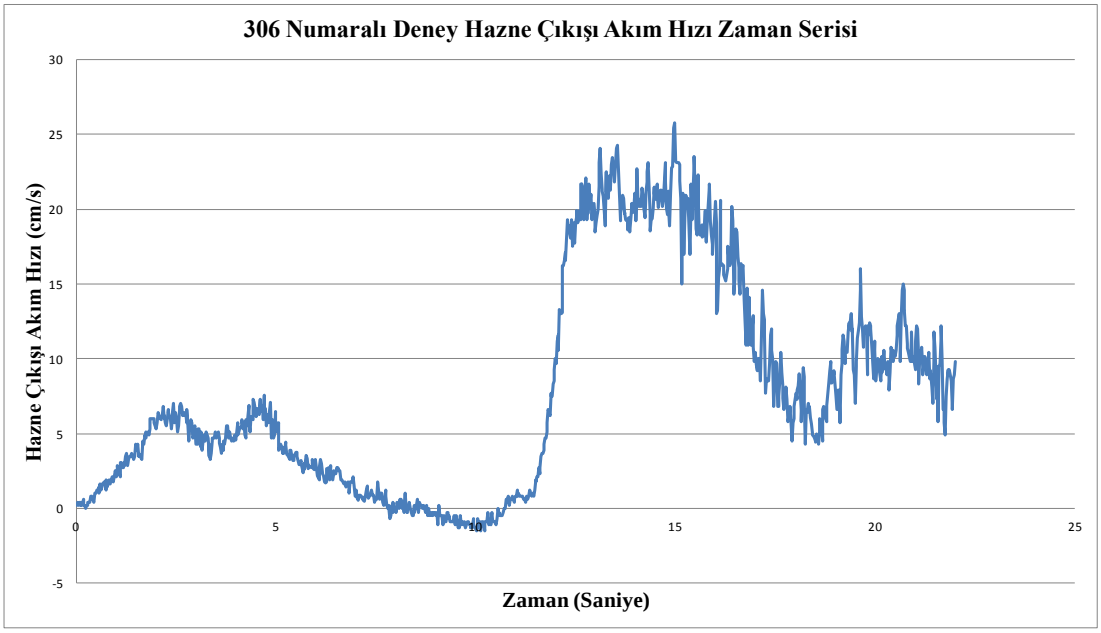
Şekil B.55 : 297 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



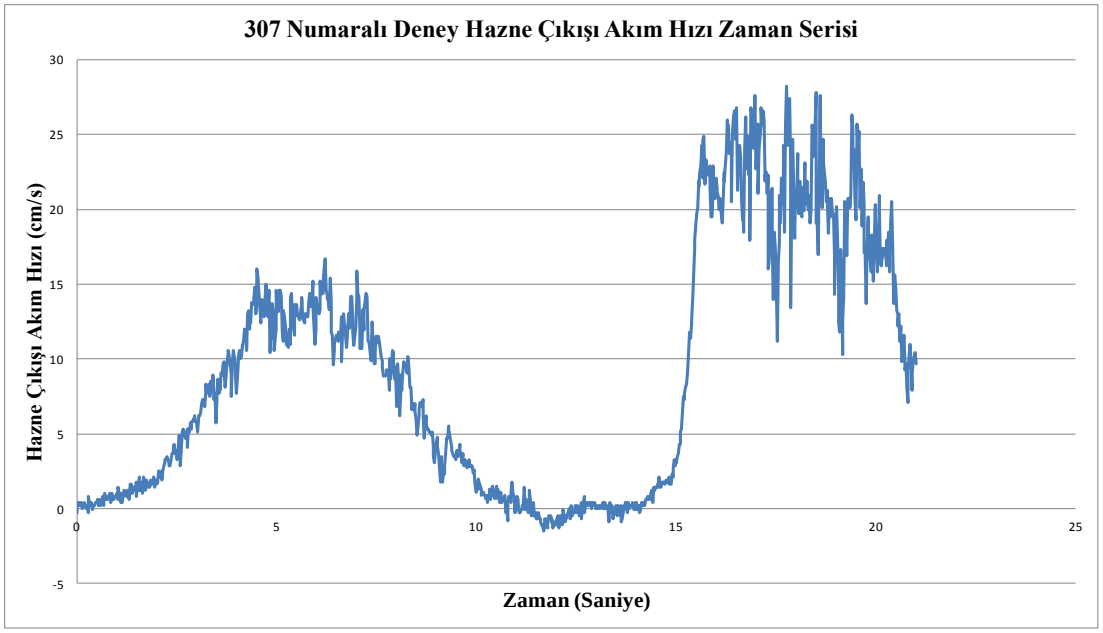
Şekil B.56 : 298 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



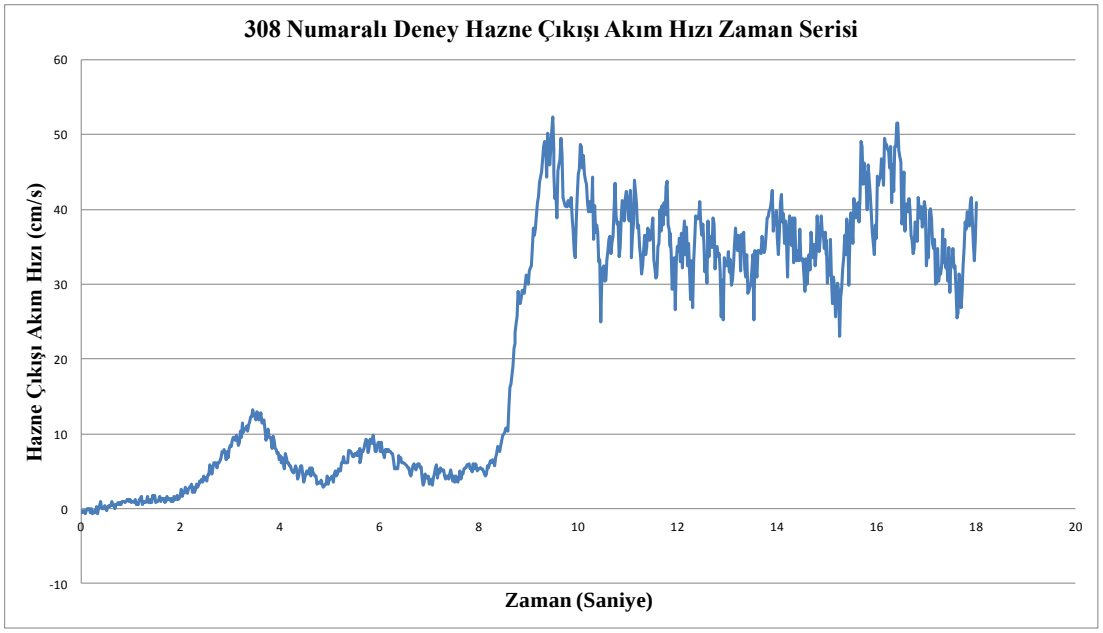
Şekil B.57 : 305 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



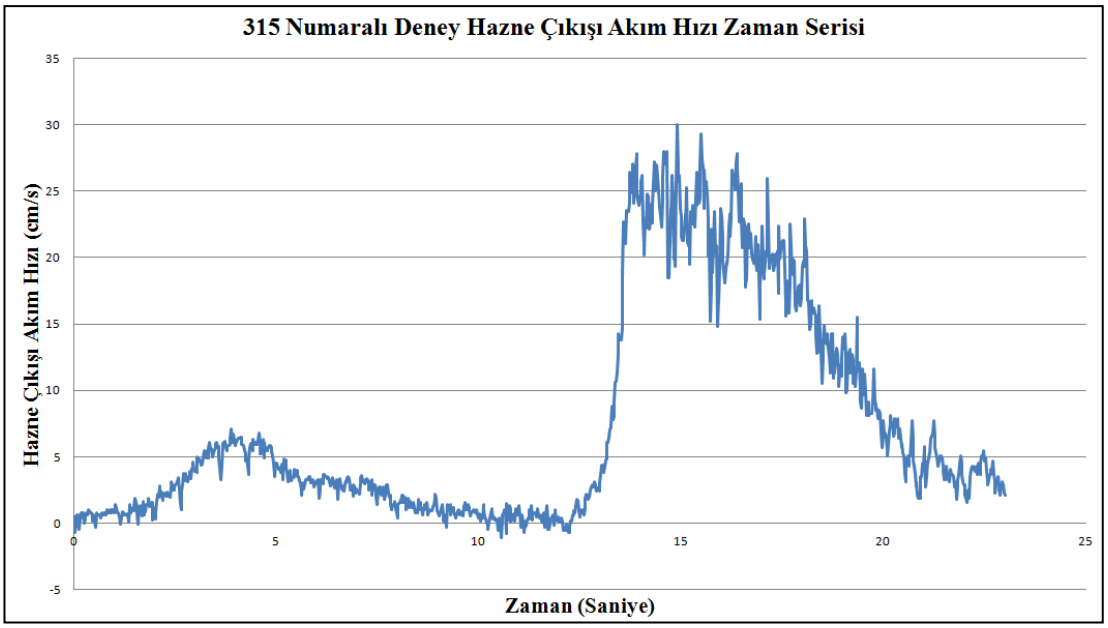
Şekil B.58 : 306 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



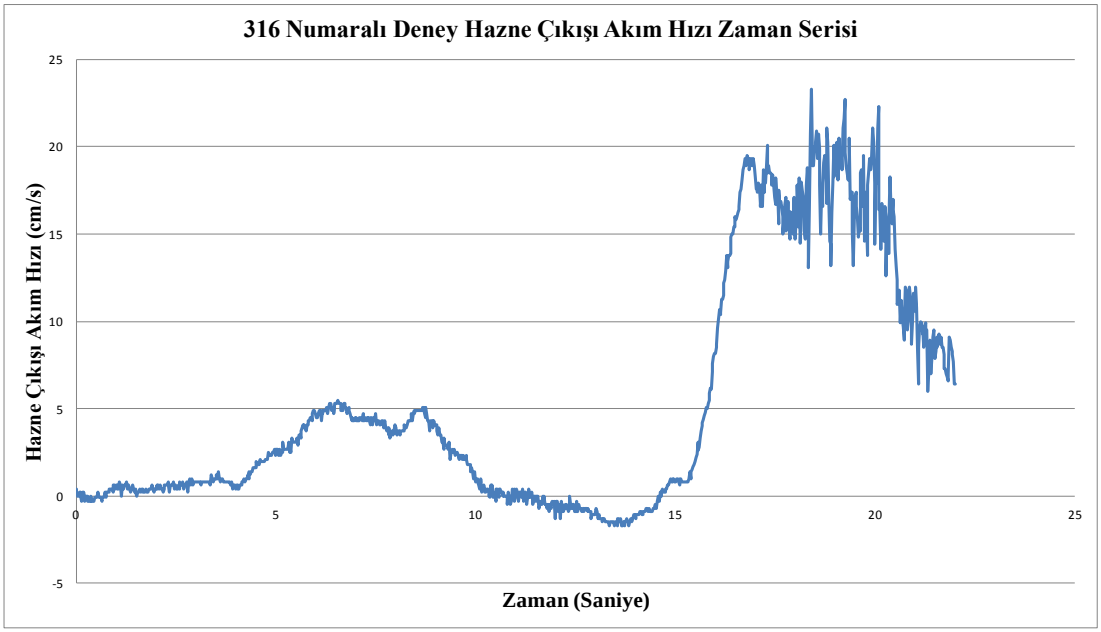
Şekil B.59 : 307 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



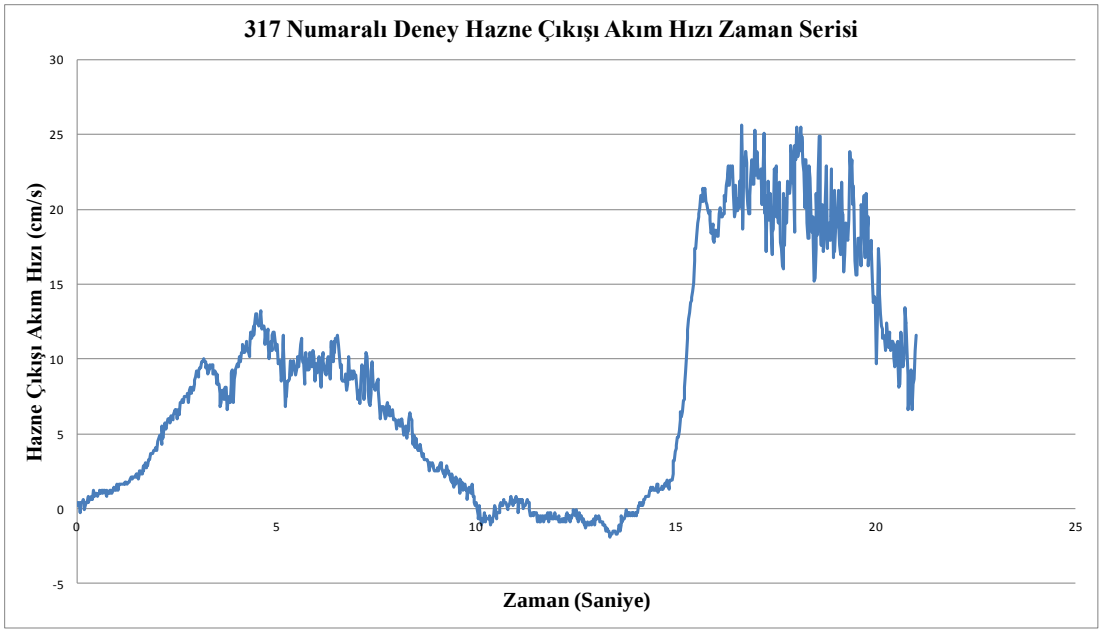
Şekil B.60 : 308 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



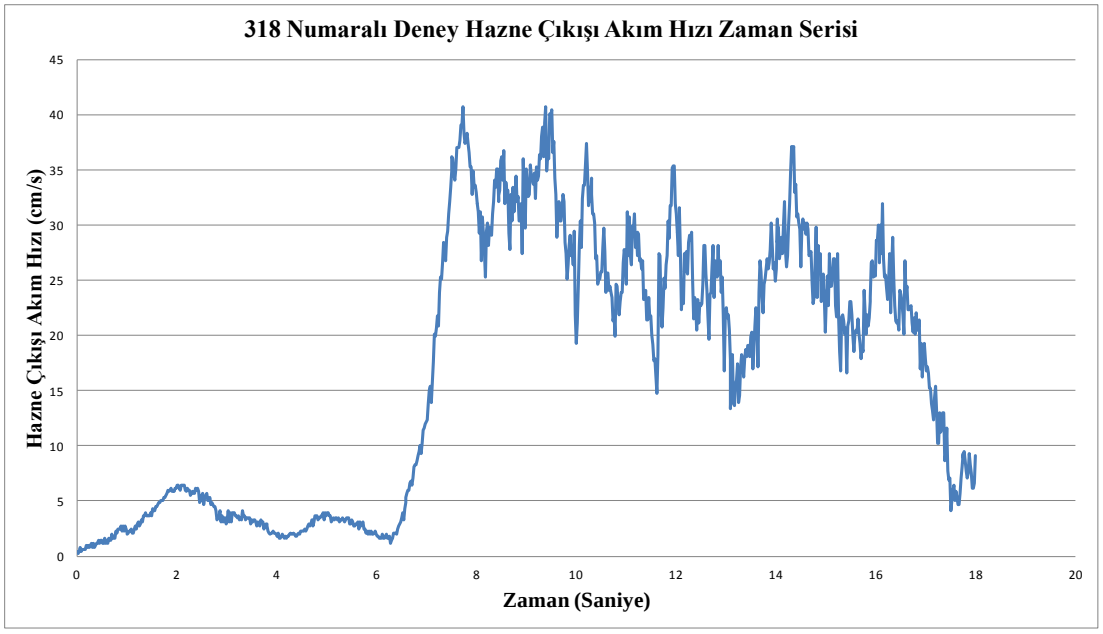
Şekil B.61 : 315 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



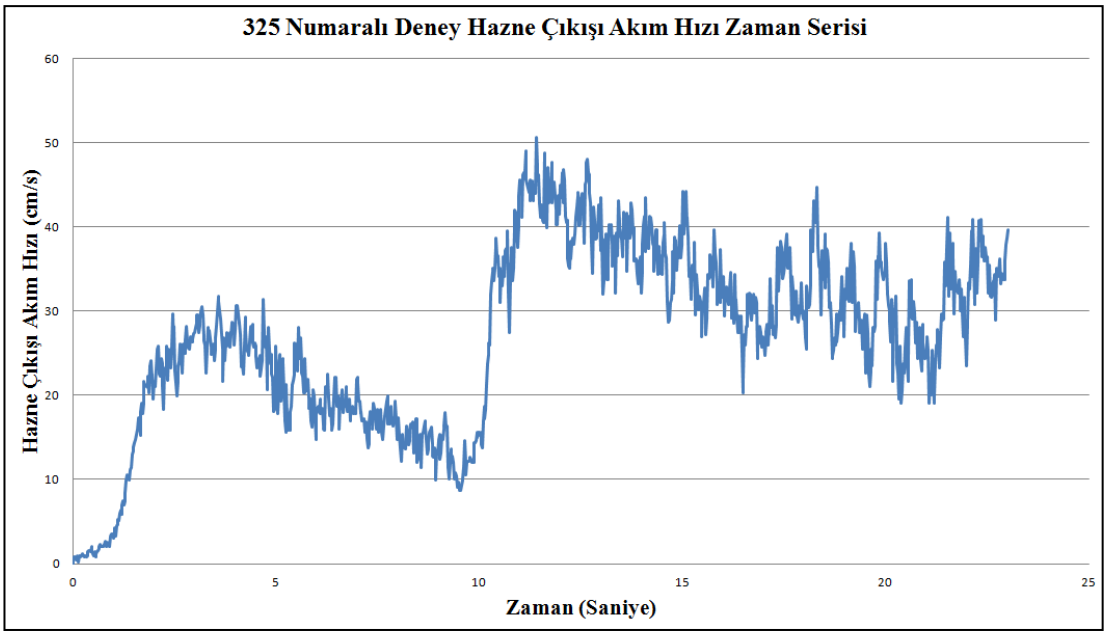
Şekil B.62 : 316 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



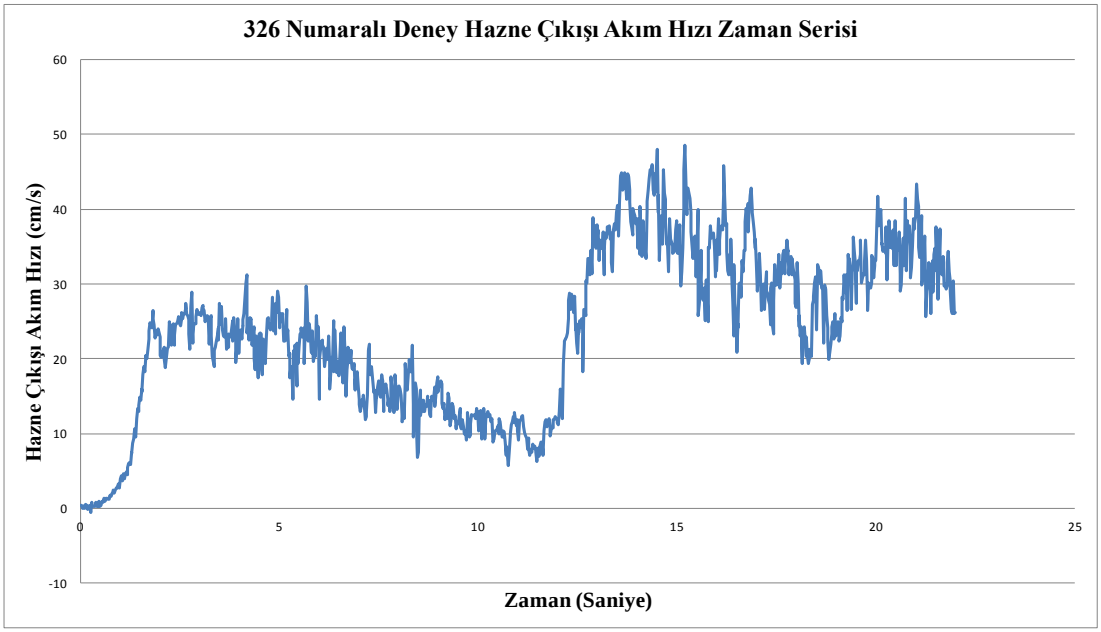
Şekil B.63 : 317 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



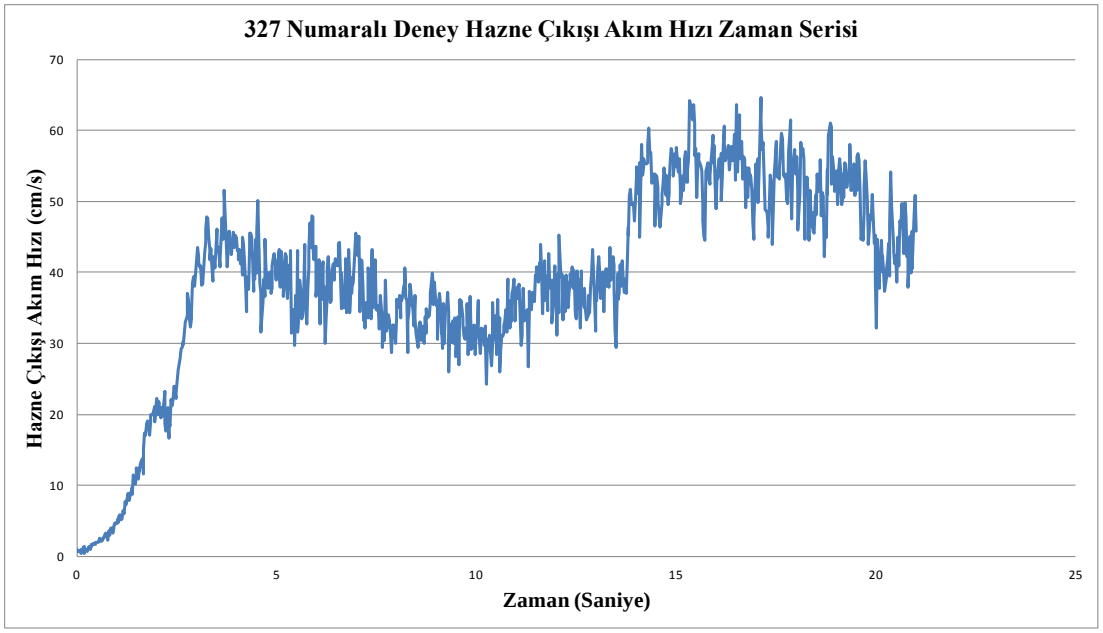
Şekil B.64 : 318 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



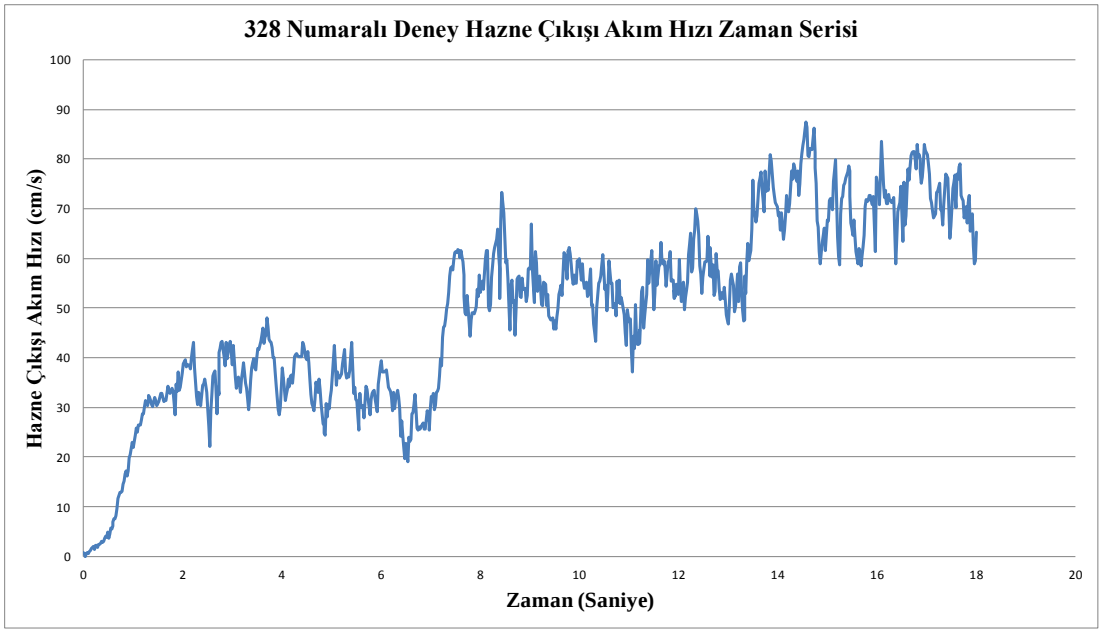
Şekil B.65 : 325 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



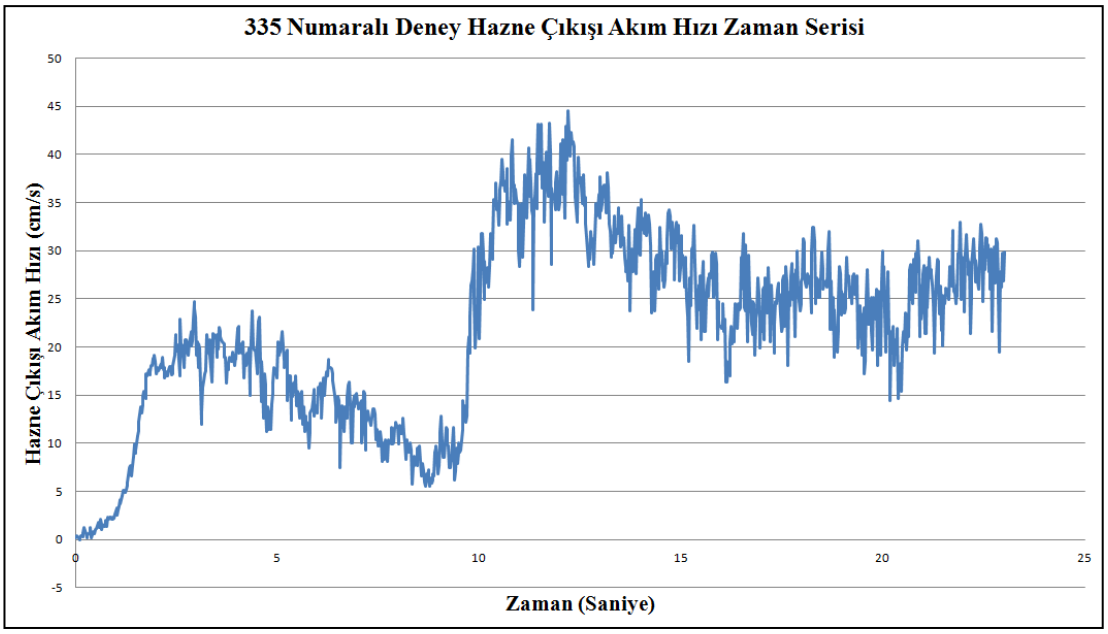
Şekil B.66 : 326 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



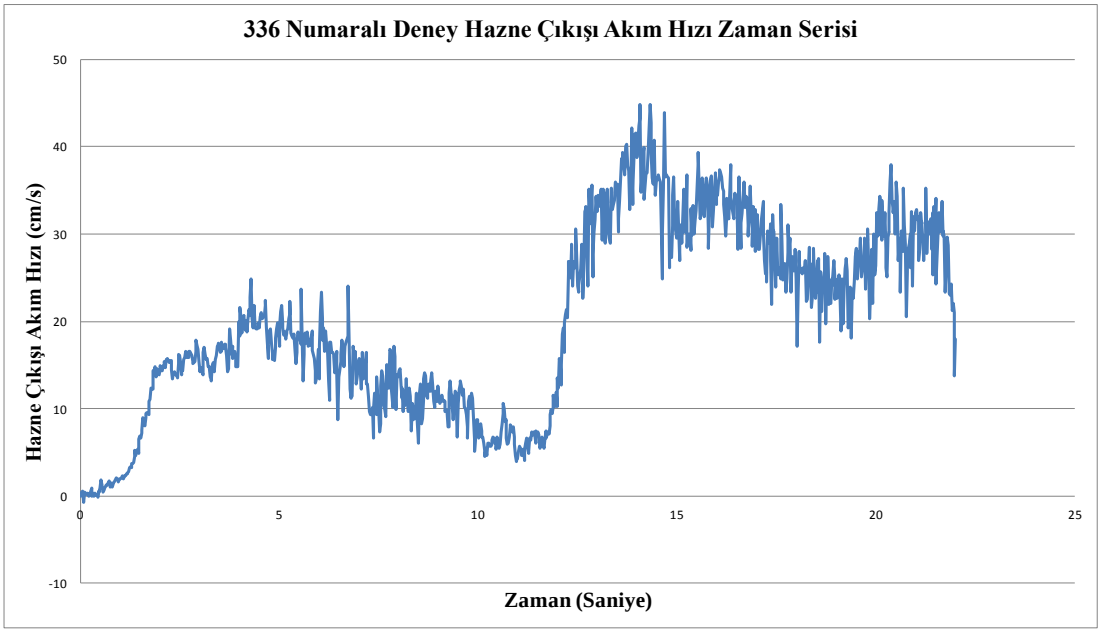
Şekil B.67 : 327 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



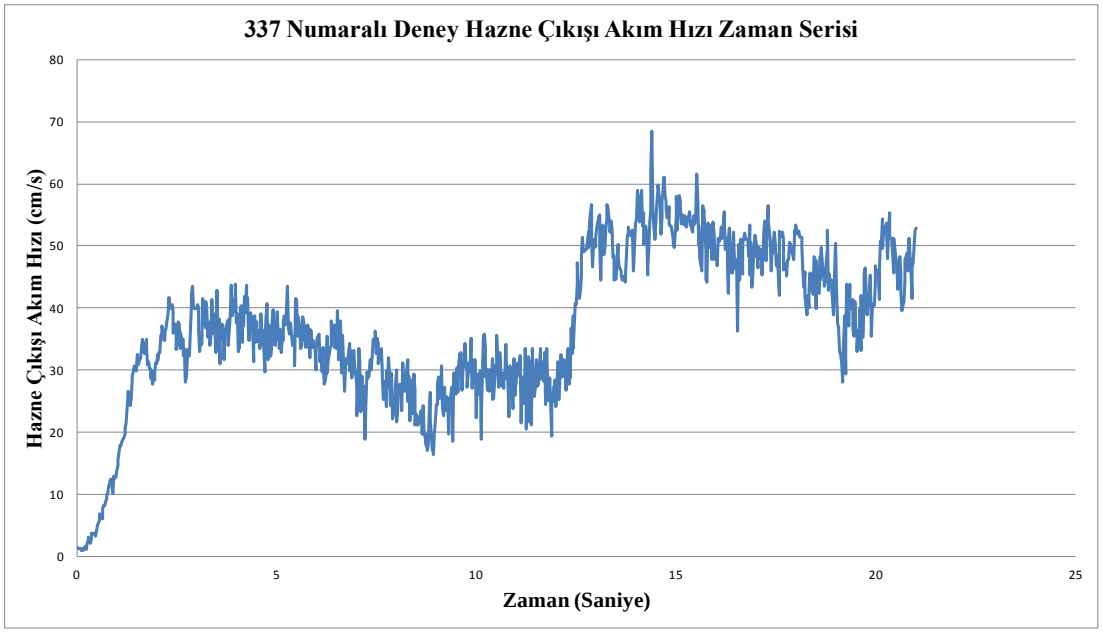
Şekil B.68 : 328 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



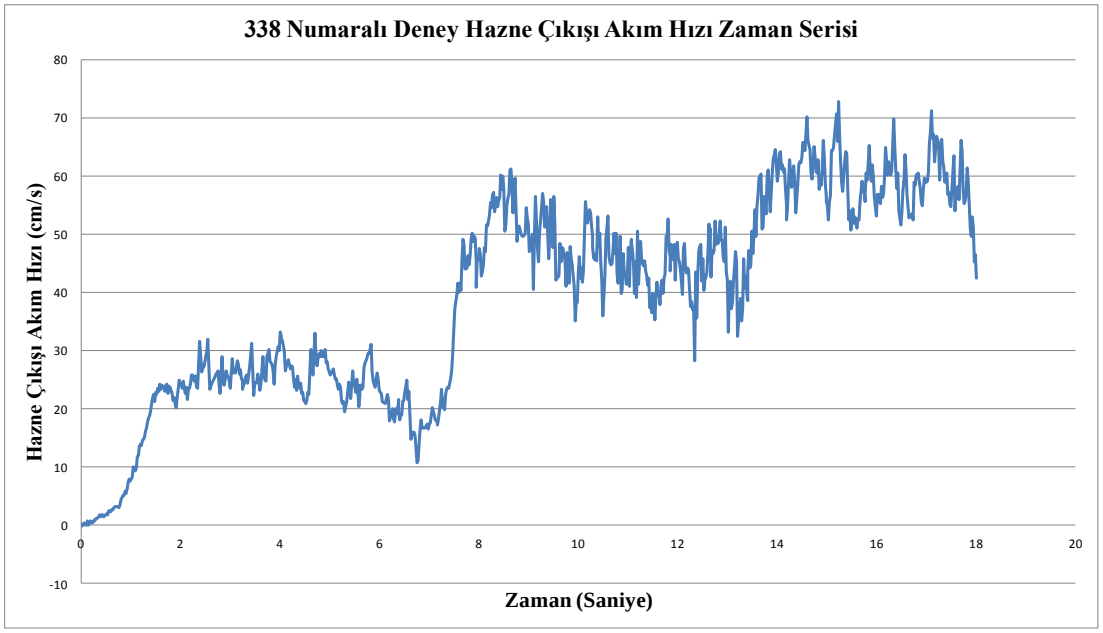
Şekil B.69 : 335 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



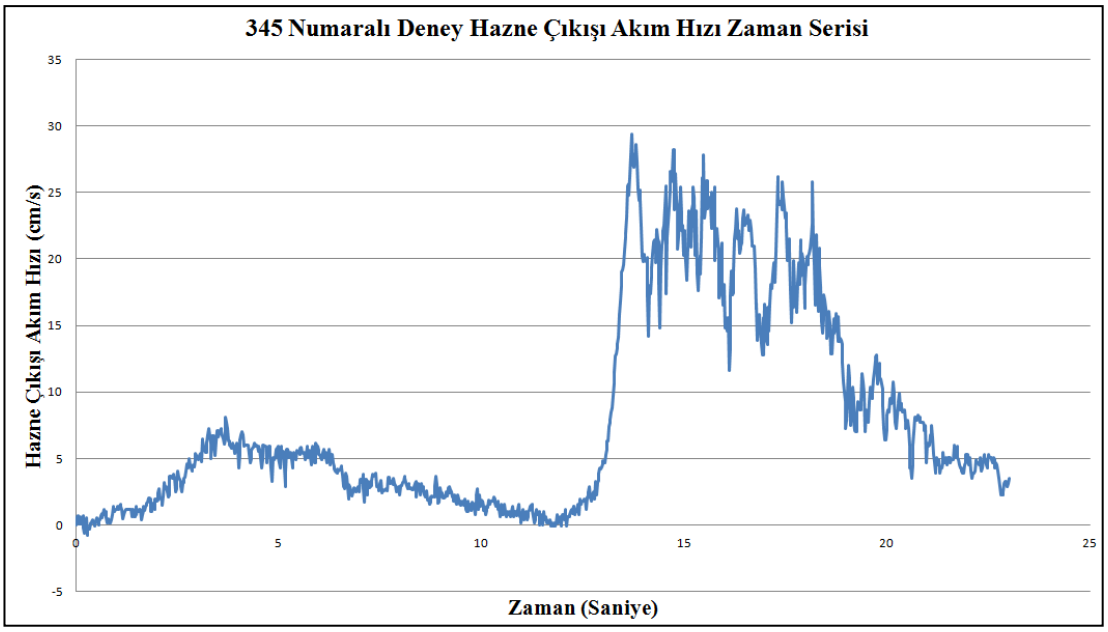
Şekil B.70 : 336 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



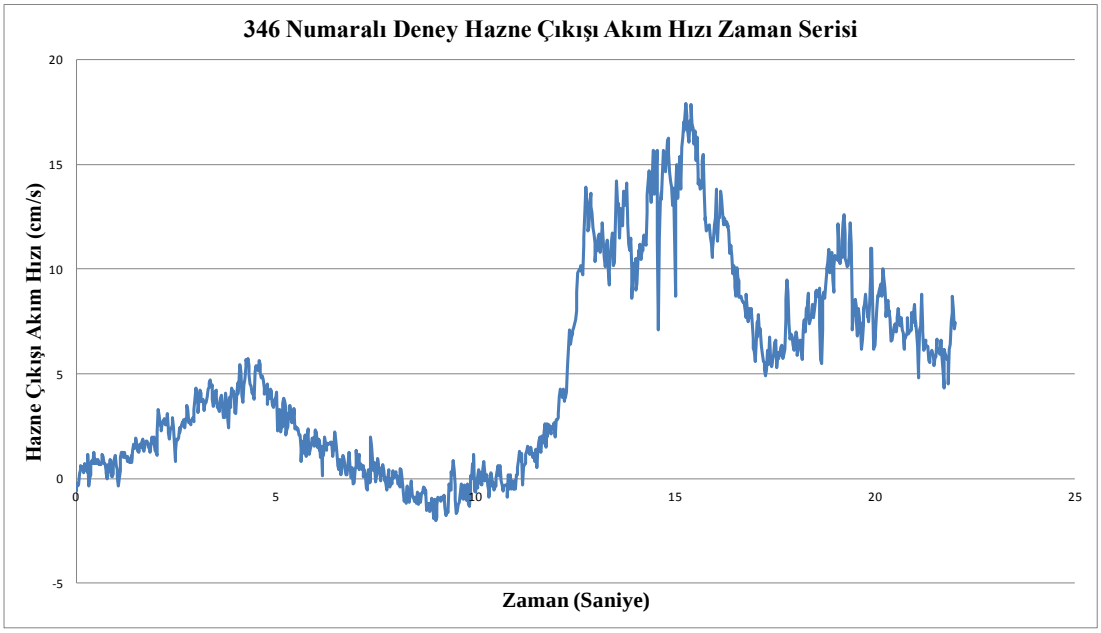
Şekil B.71 : 337 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



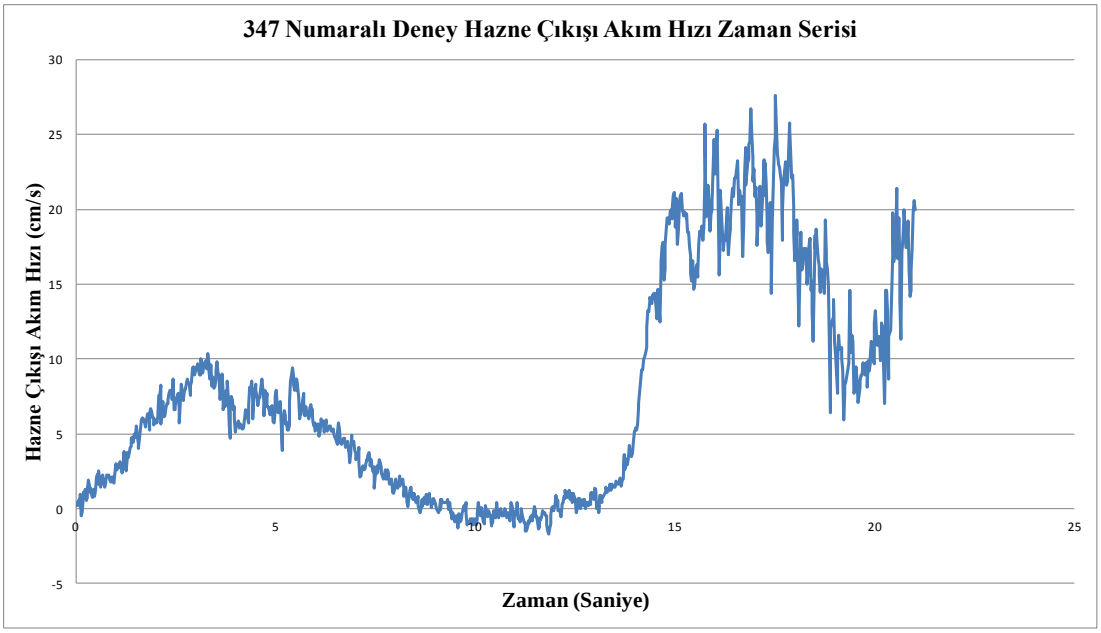
Şekil B.72 : 338 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



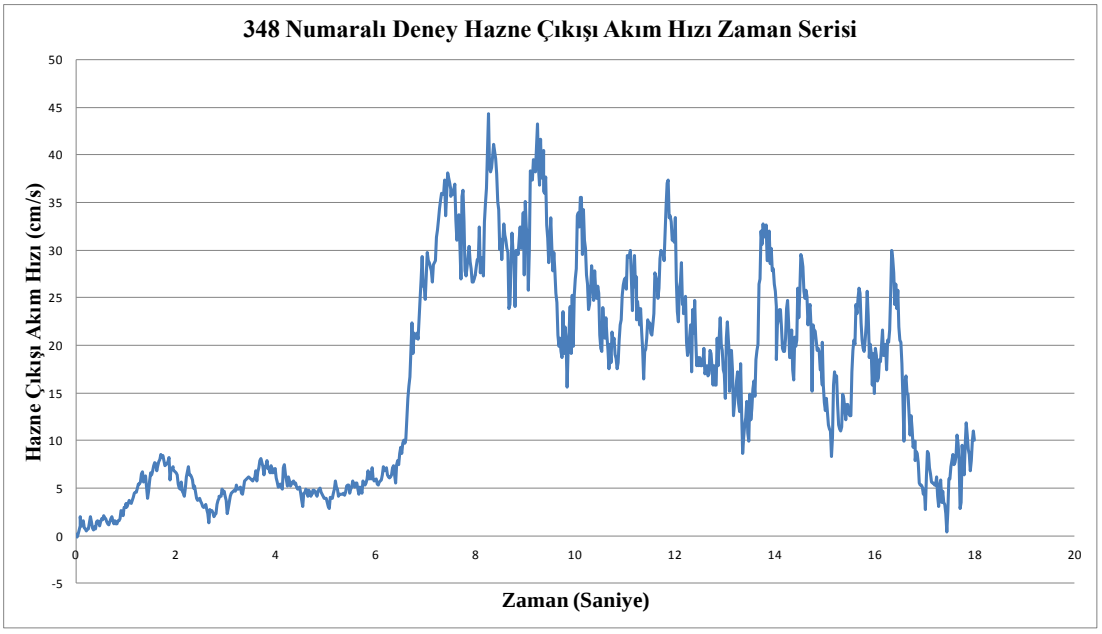
Şekil B.73 : 345 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.



Şekil B.74 : 346 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.

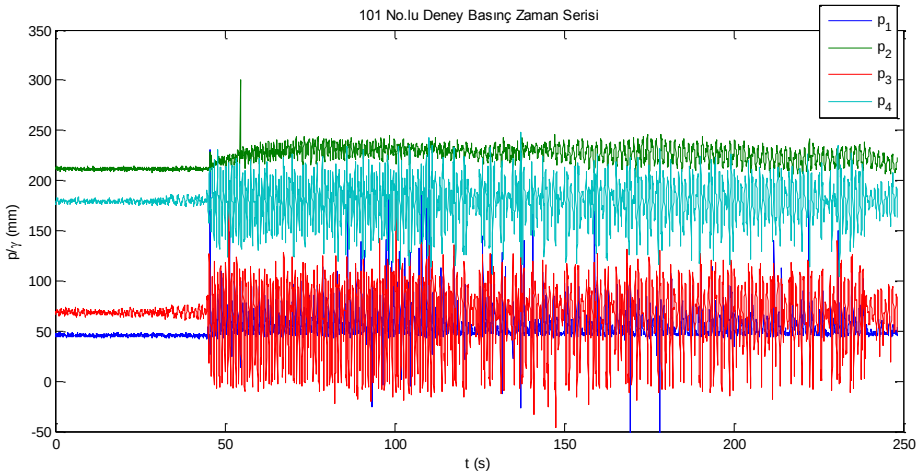


Şekil B.75 : 347 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.

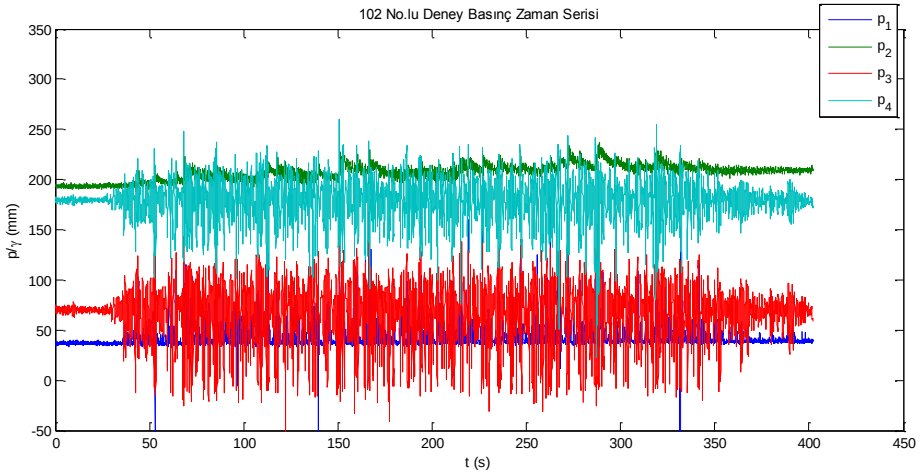


Şekil B.76 : 348 No.lu deneyde hazne çıkışındaki akım hızının zaman serisi.

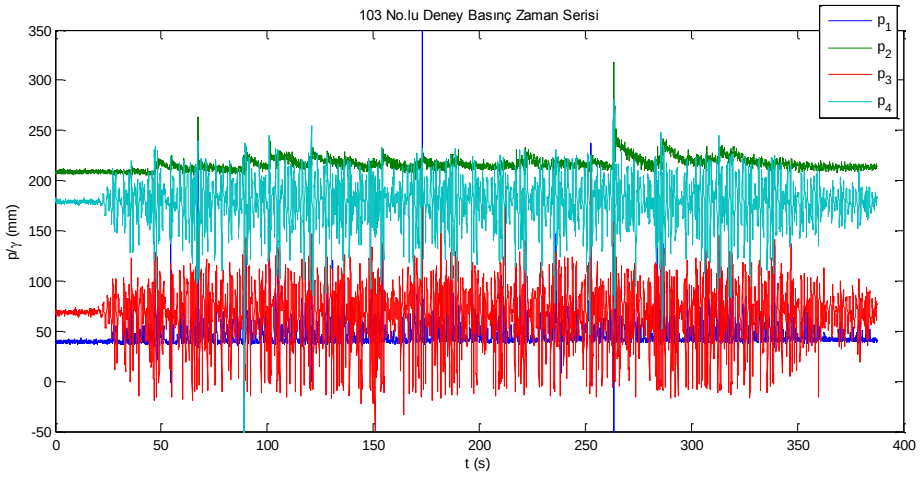
EK C : DENEYLERDE KAYDEDİLEN BASINÇ ZAMAN SERİSİ GRAFİKLERİ.



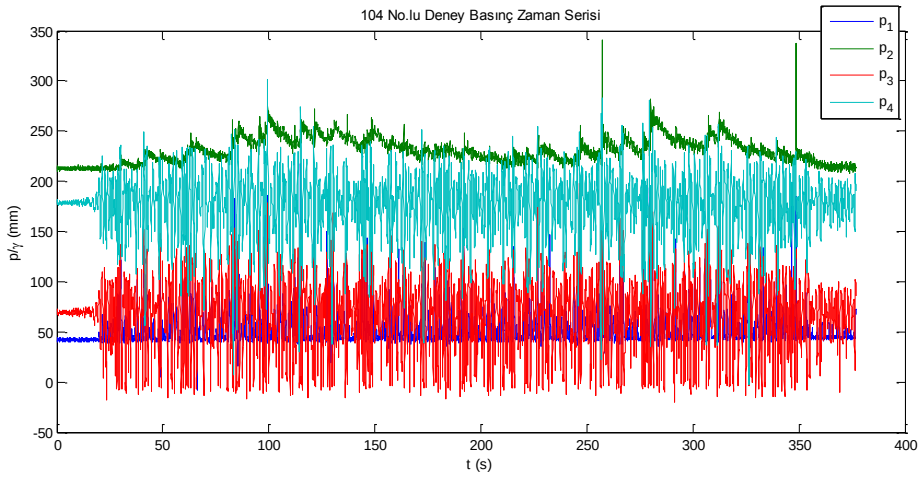
Şekil C.1 : 101 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



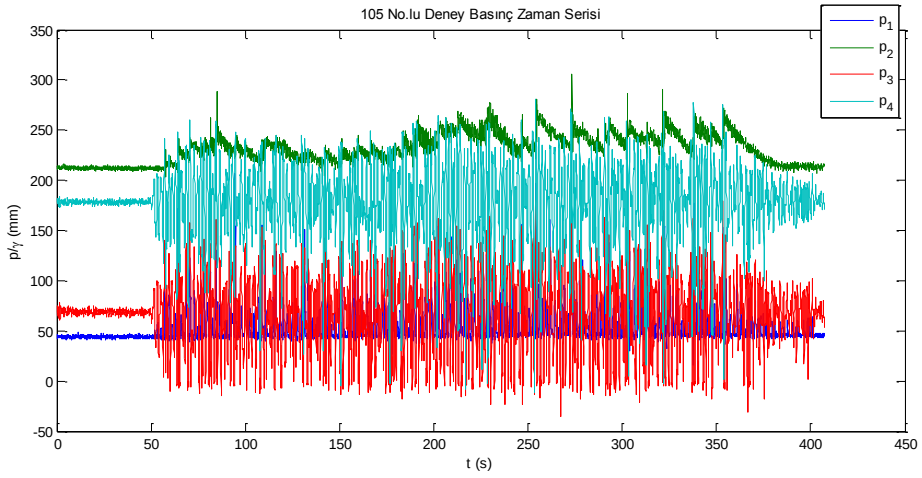
Şekil C.2 : 102 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



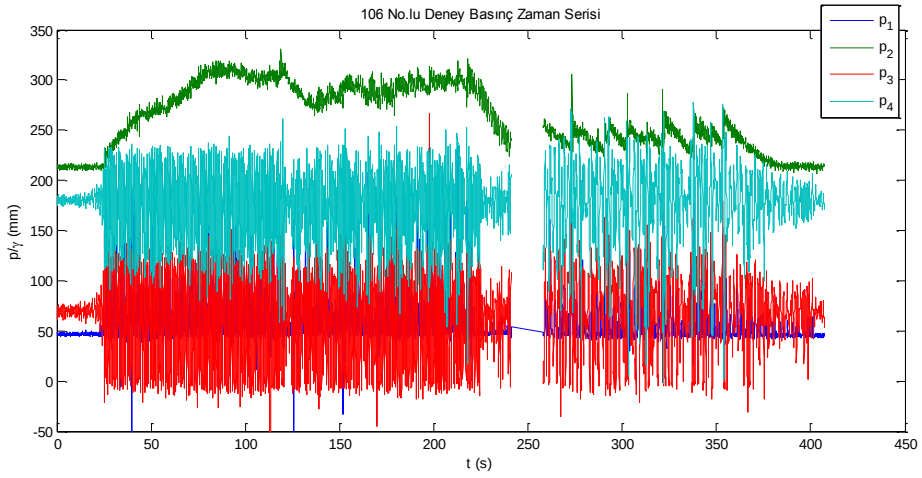
Şekil C.3 : 103 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



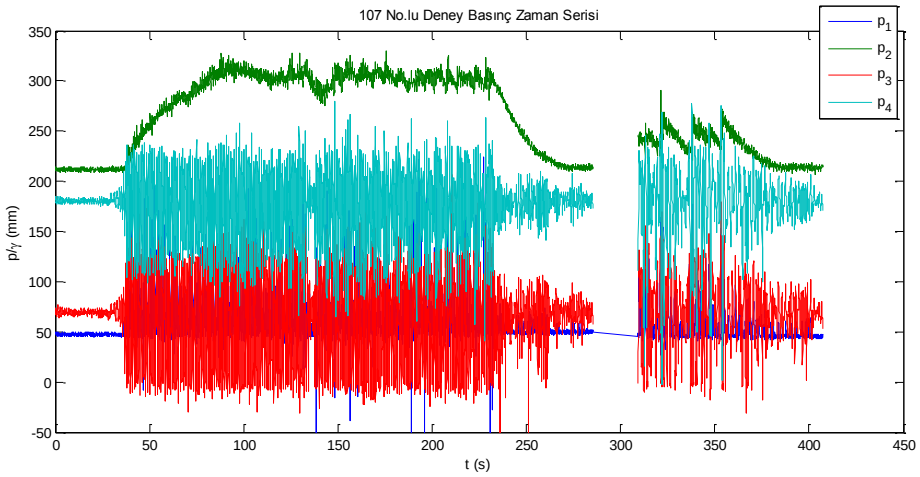
Şekil C.4 : 104 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



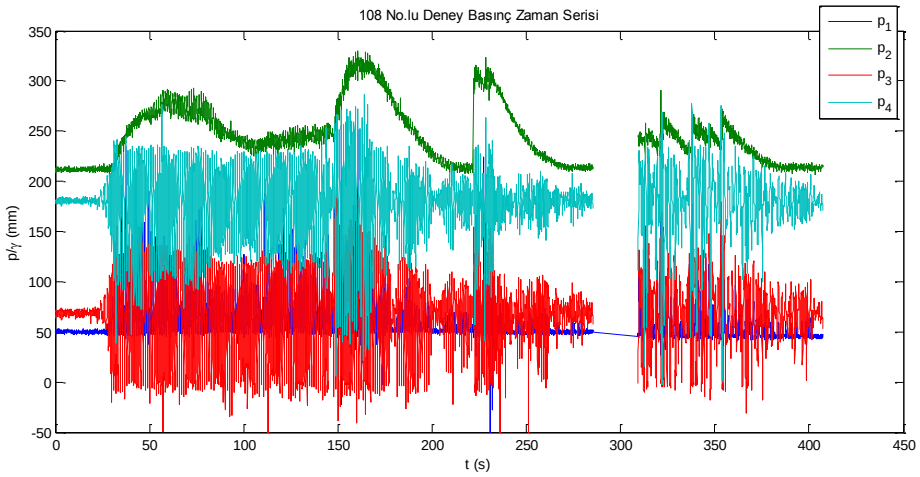
Şekil C.5 : 105 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



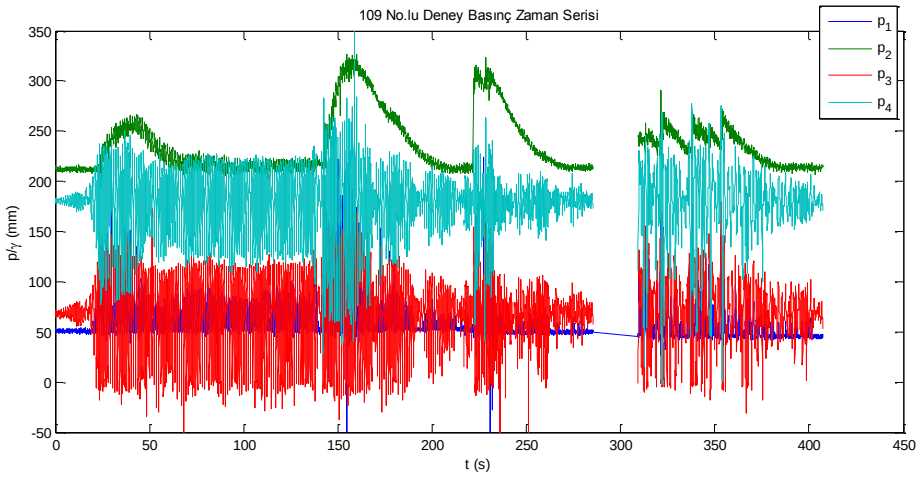
Şekil C.6 : 106 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



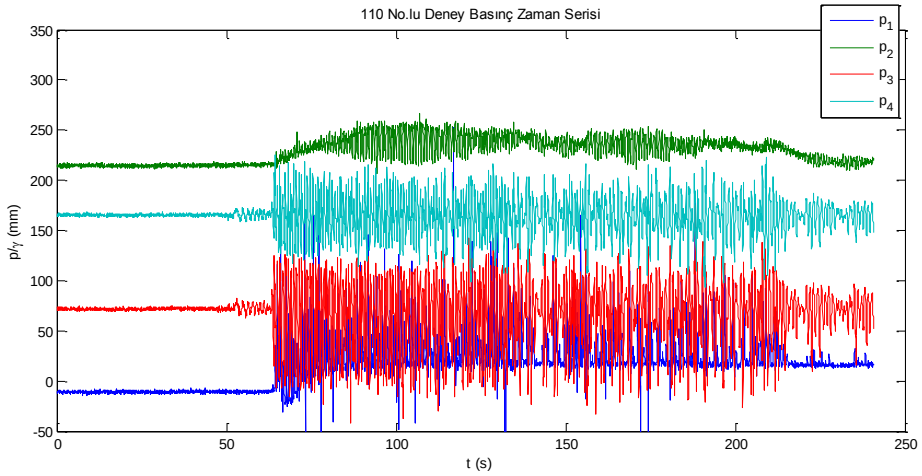
Şekil C.7 : 107 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



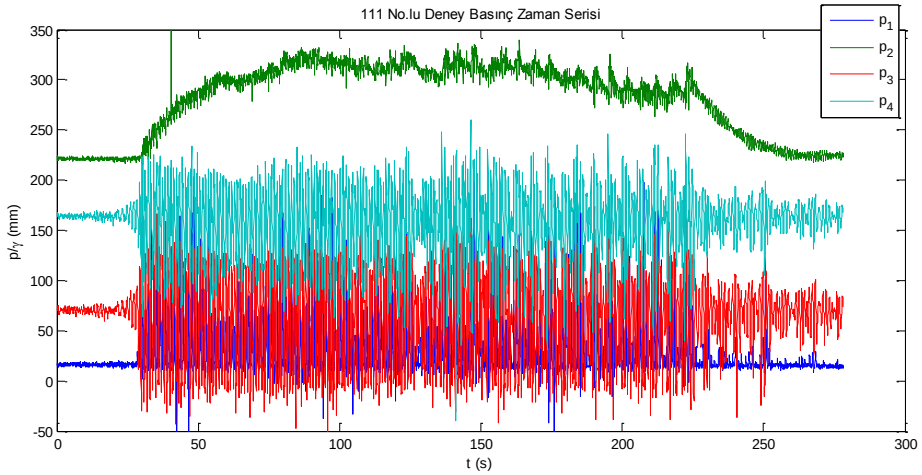
Şekil C.8 : 108 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



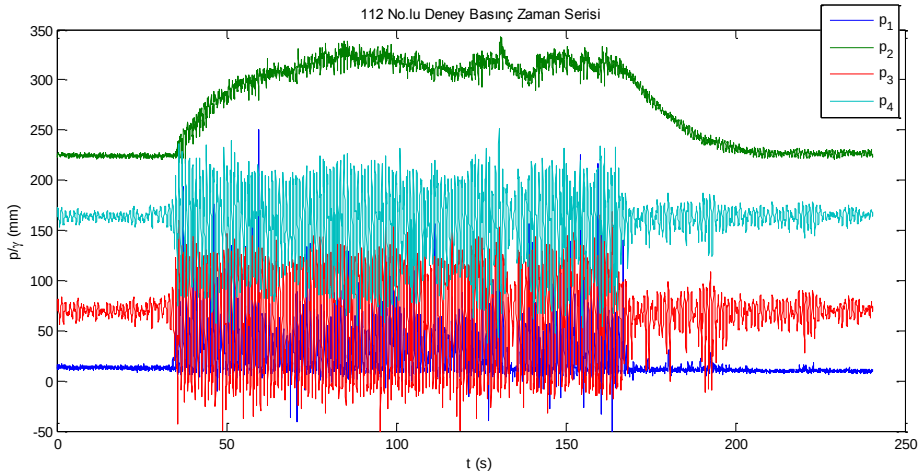
Şekil C.9 : 109 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



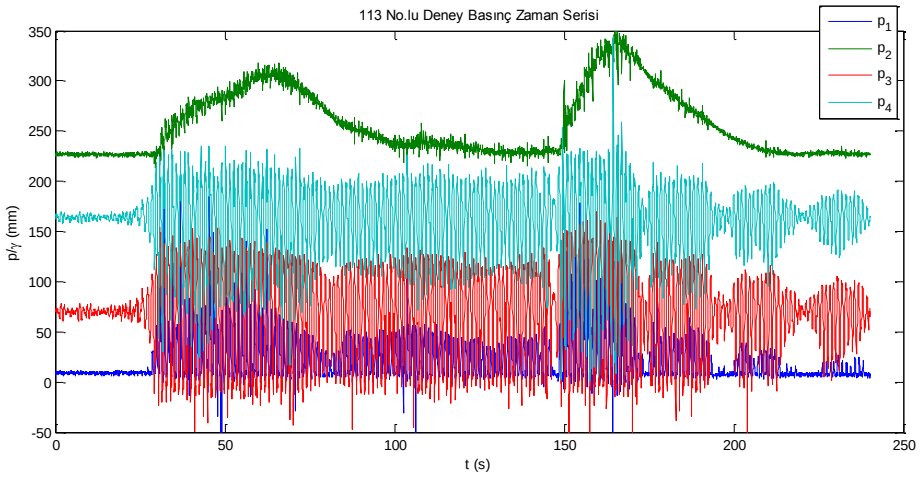
Şekil C.10 : 110 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



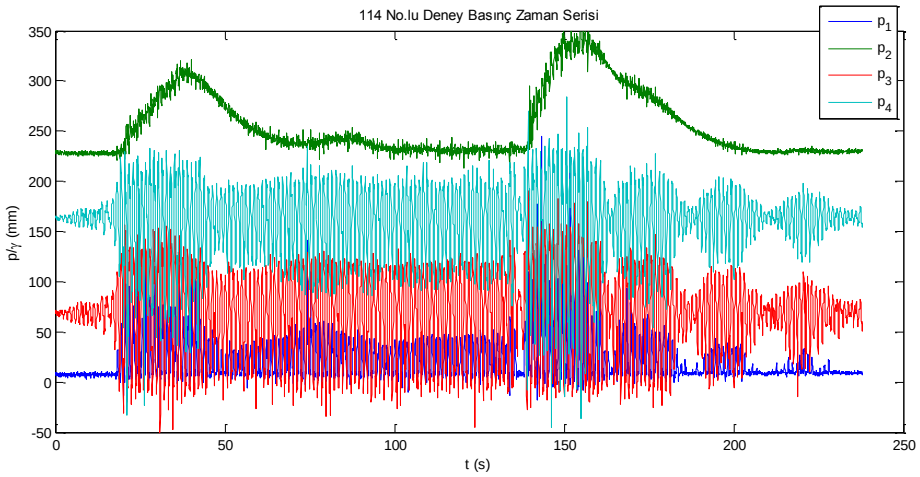
Şekil C.11 : 111 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



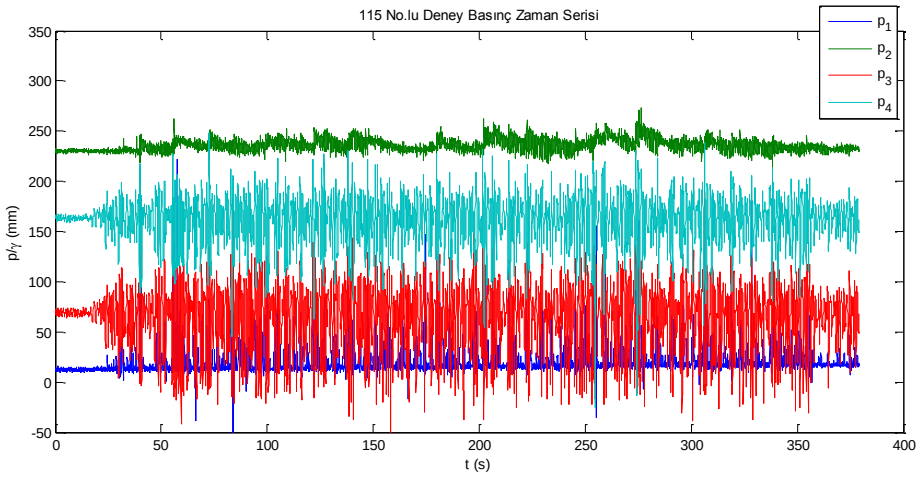
Şekil C.12 : 112 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



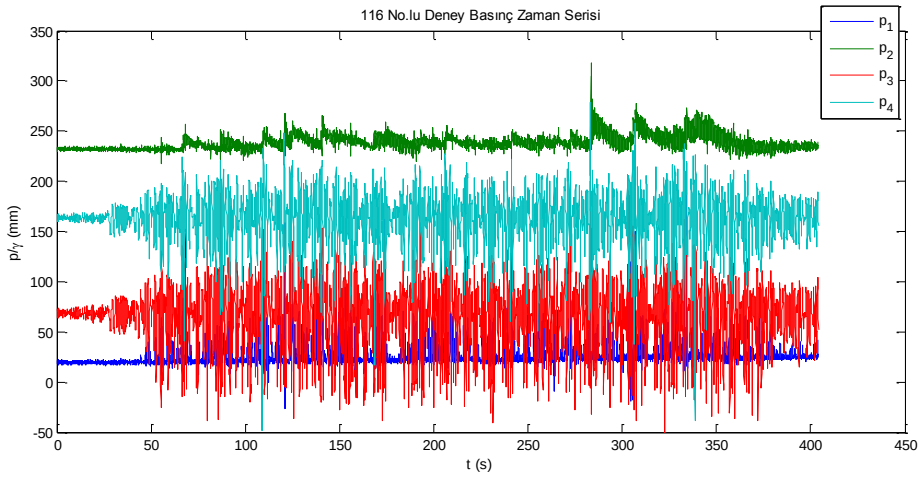
Şekil C.13 : 113 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



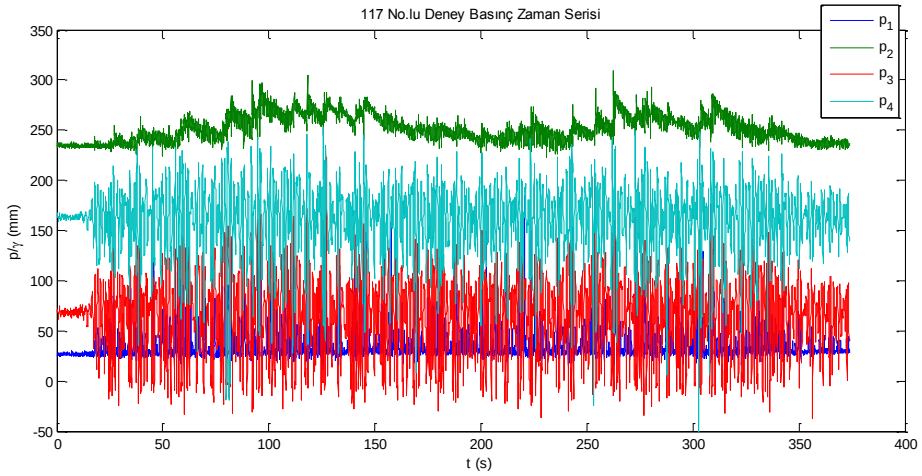
Şekil C.14 : 114 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



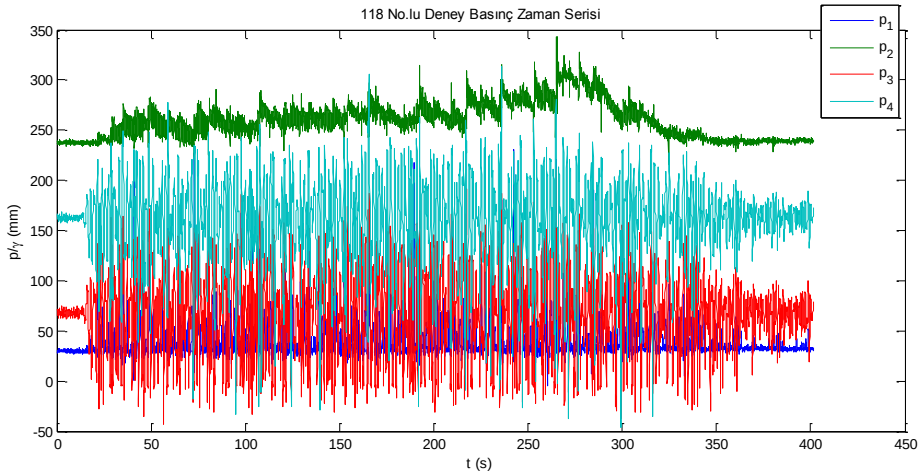
Şekil C.15 : 115 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



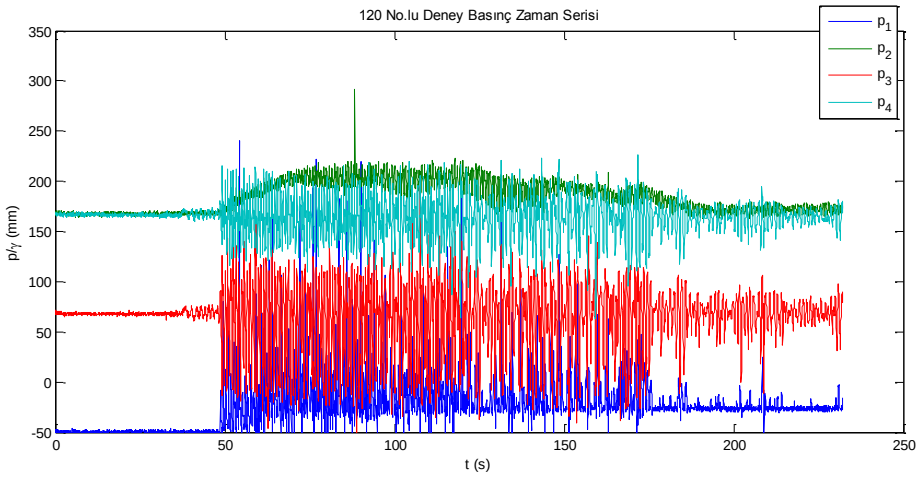
Şekil C.16 : 116 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



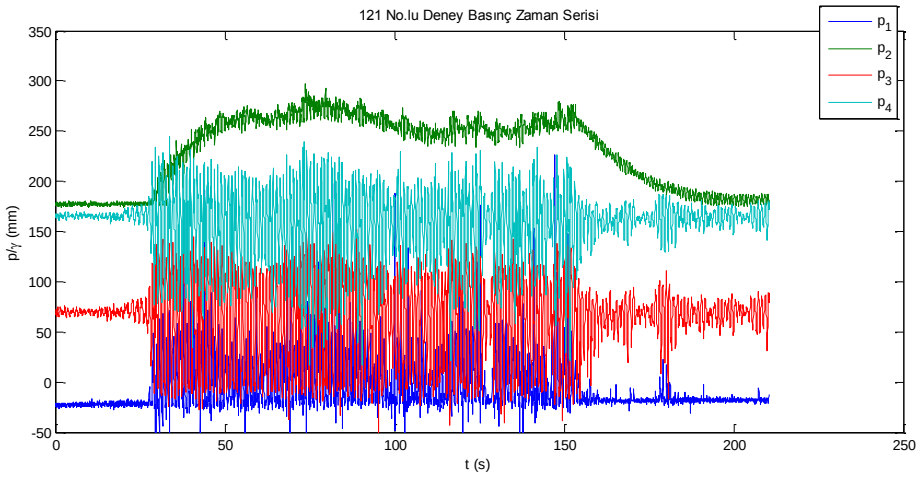
Şekil C.17 : 117 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



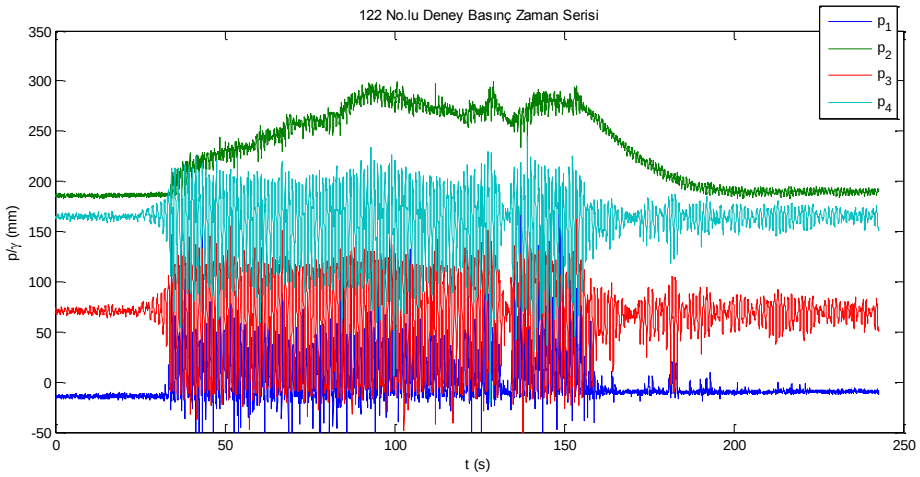
Şekil C.18 : 118 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



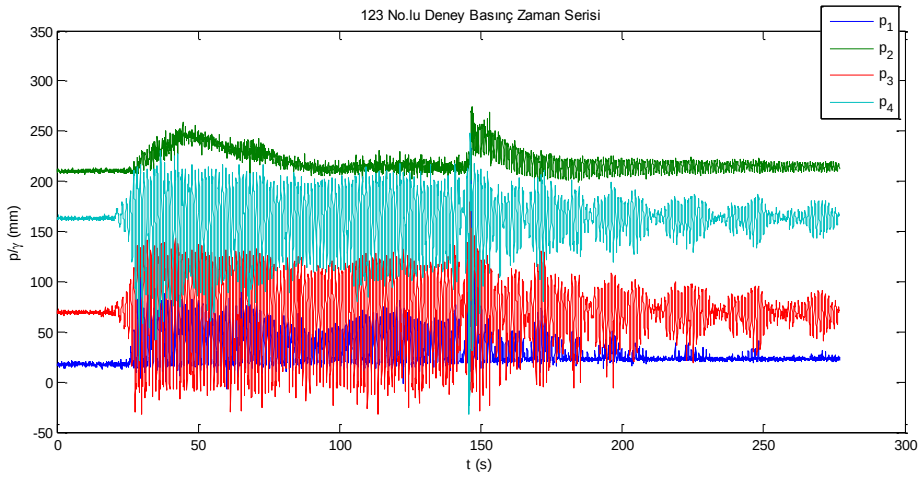
Şekil C.19 : 120 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



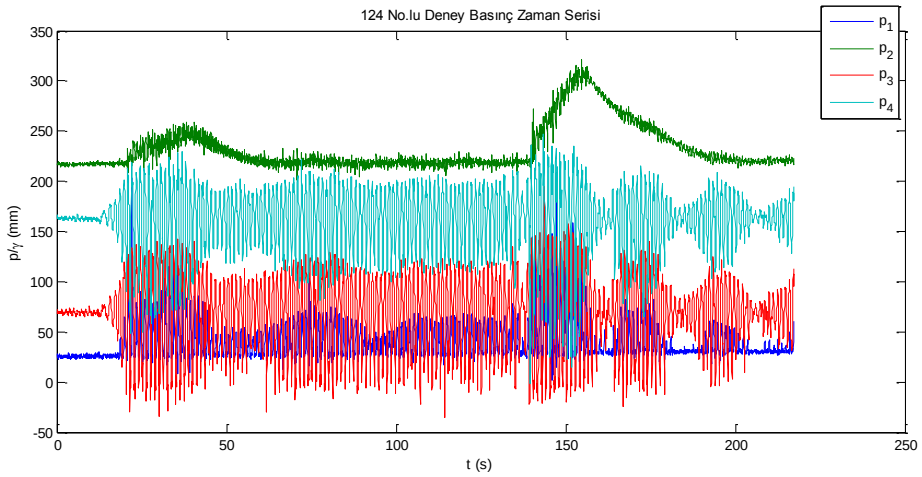
Şekil C.20 : 121 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



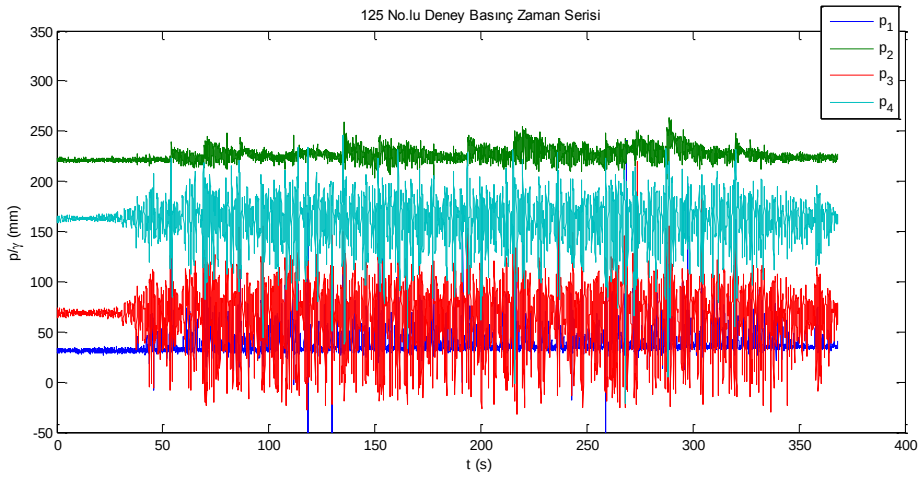
Şekil C.21 : 122 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



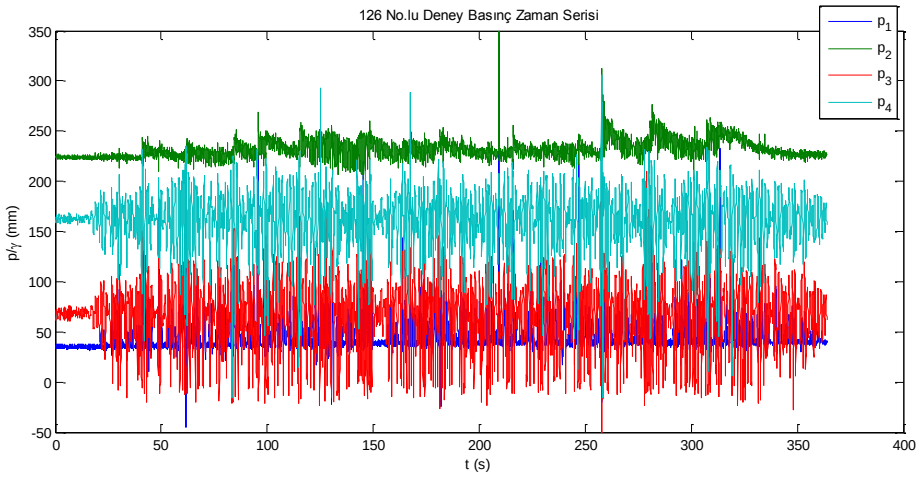
Şekil C.22 : 123 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



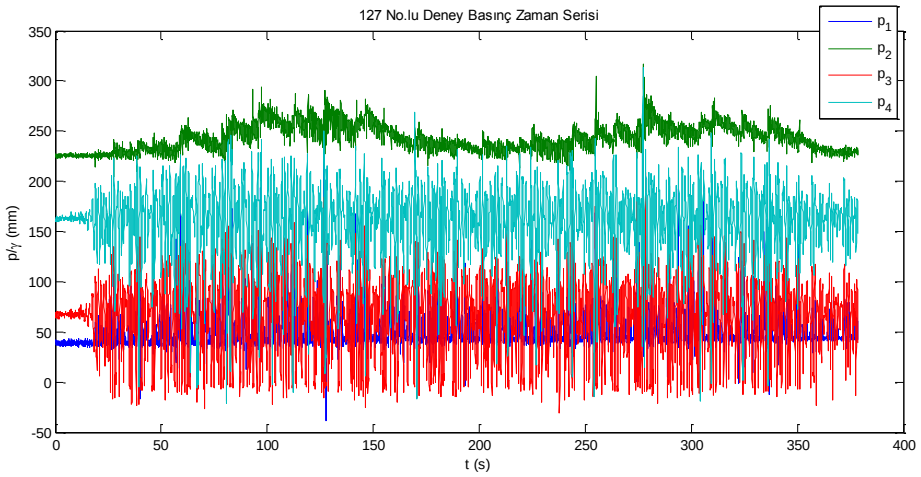
Şekil C.23 : 124 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



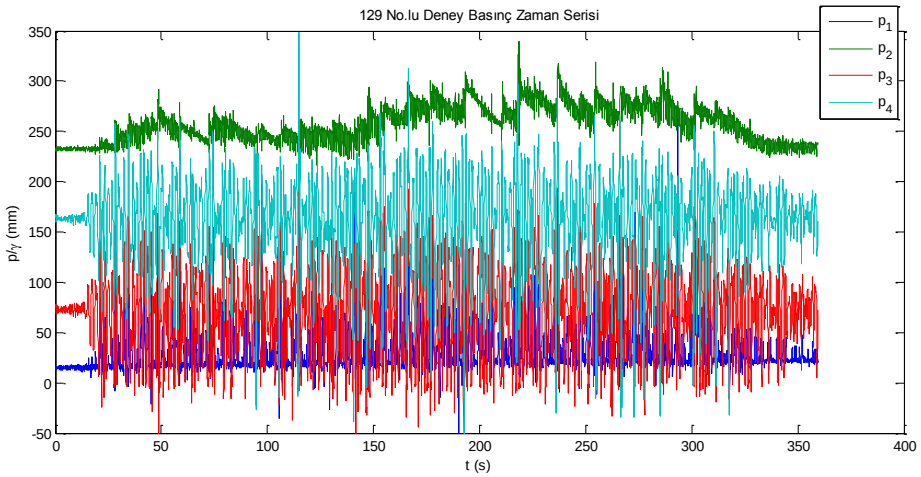
Şekil C.24 : 125 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



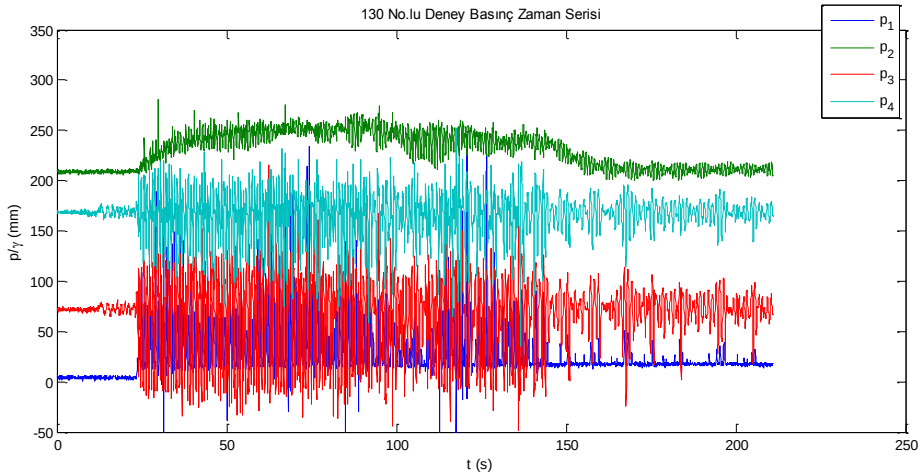
Şekil C.25 : 126 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



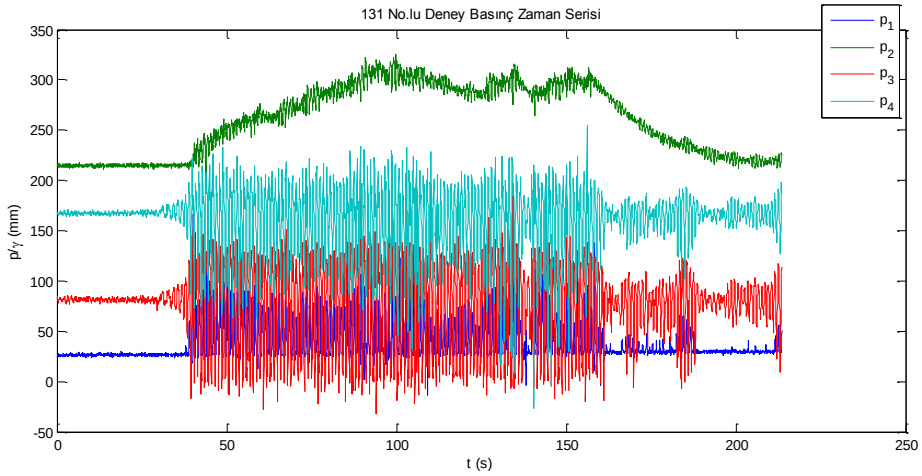
Şekil C.26 : 127 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



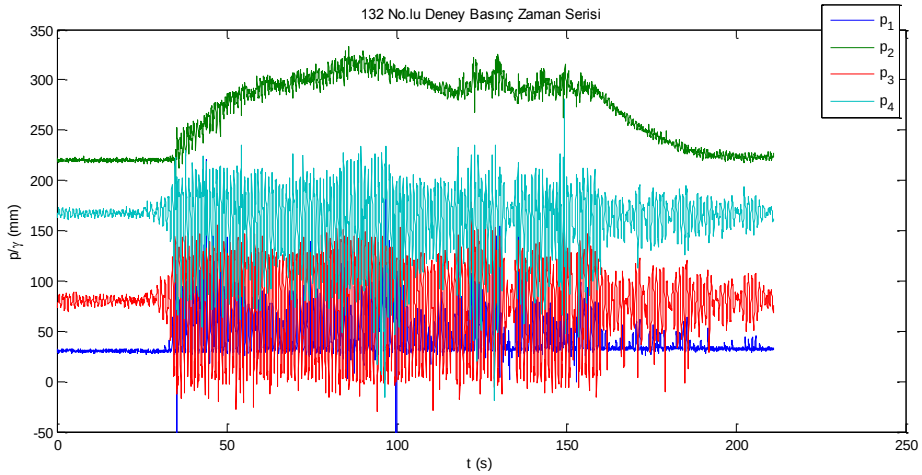
Şekil C.27 : 129 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



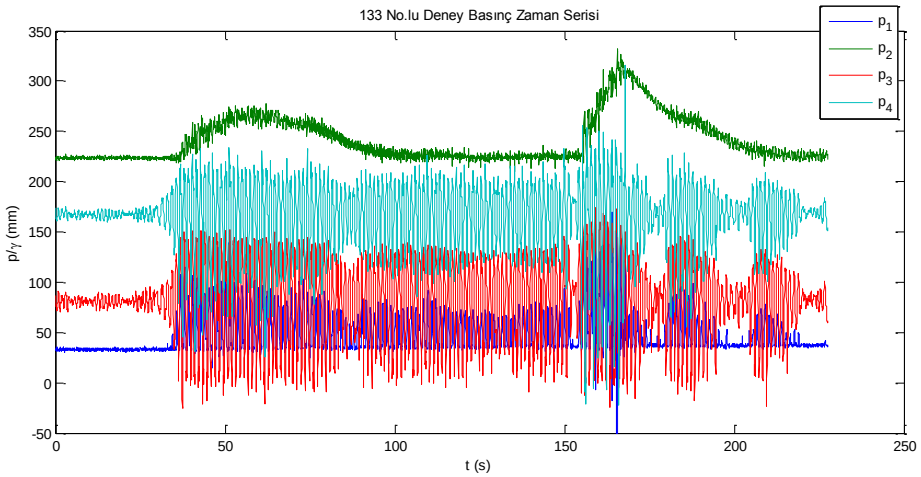
Şekil C.28 : 130 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



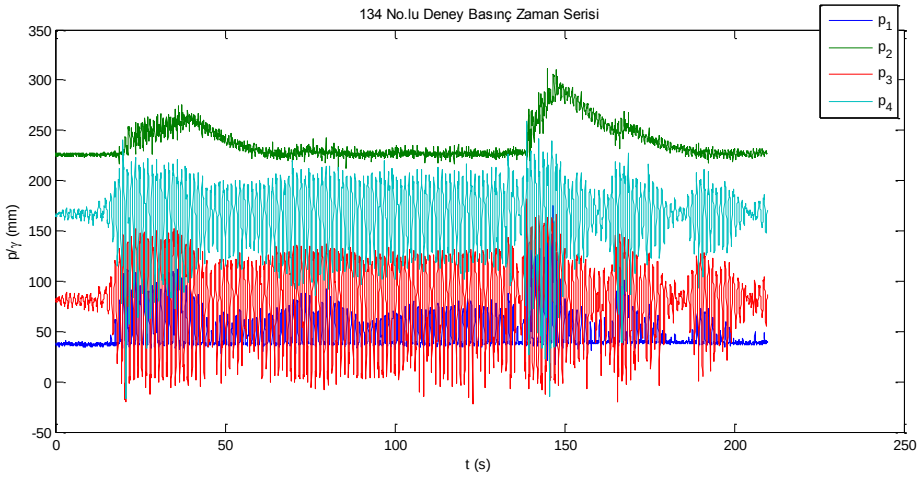
Şekil C.29 : 131 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



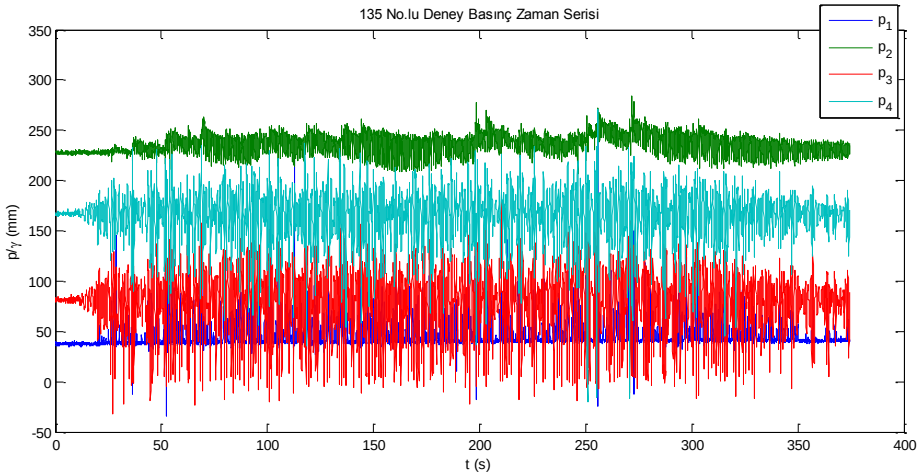
Şekil C.30 : 132 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



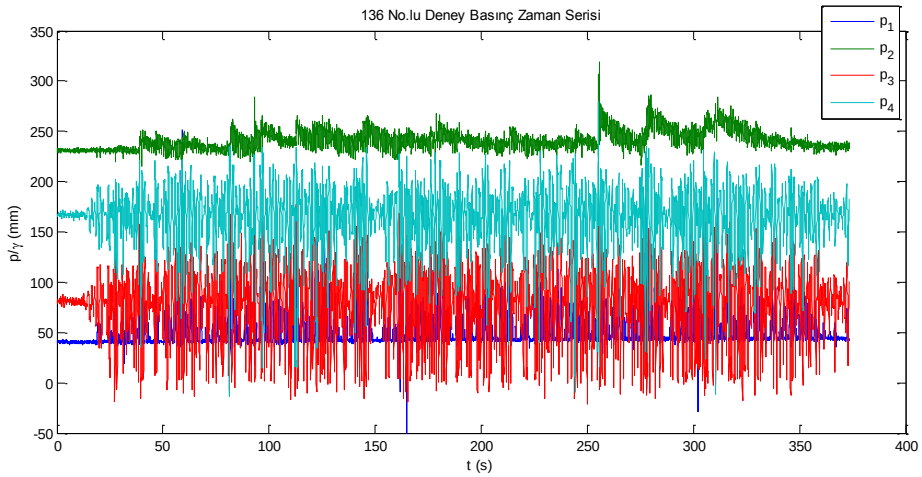
Şekil C.31 : 133 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



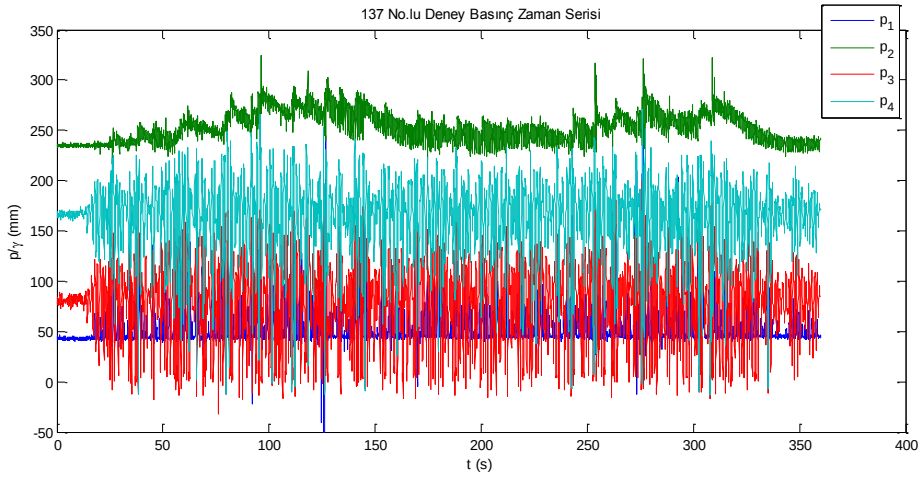
Şekil C.32 : 134 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



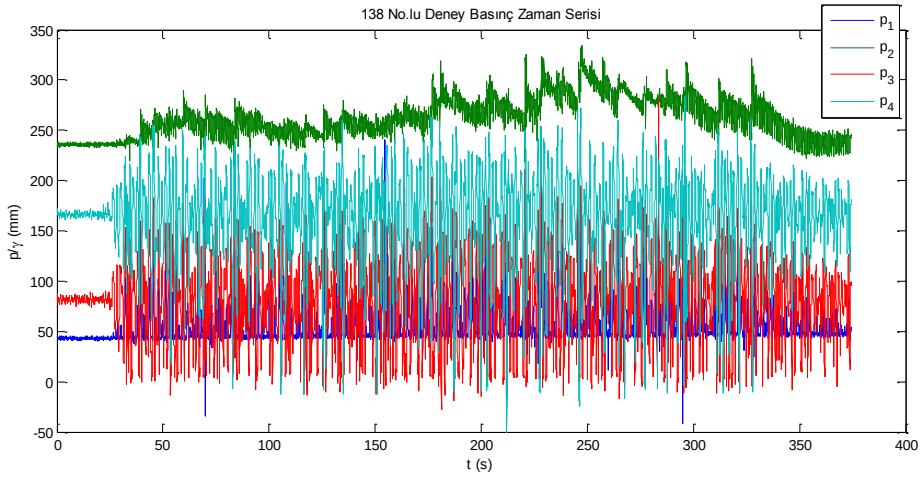
Şekil C.33 : 135 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



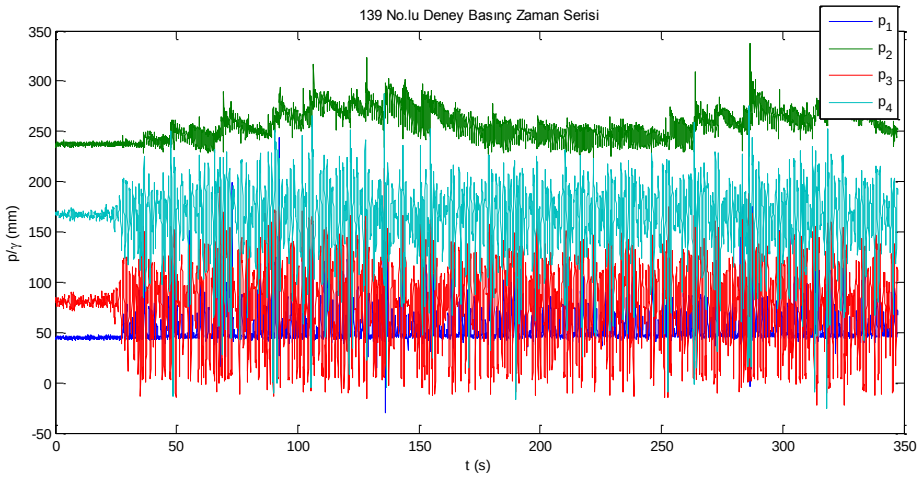
Şekil C.34 : 136 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



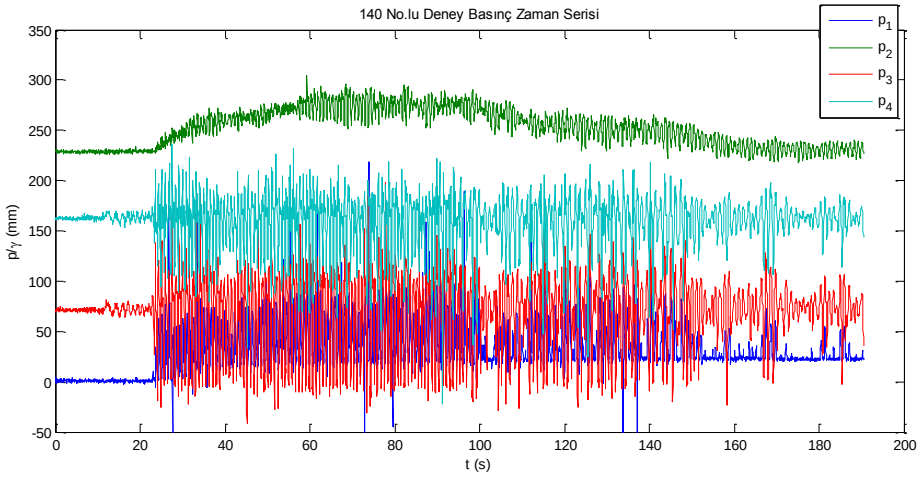
Şekil C.35 : 137 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



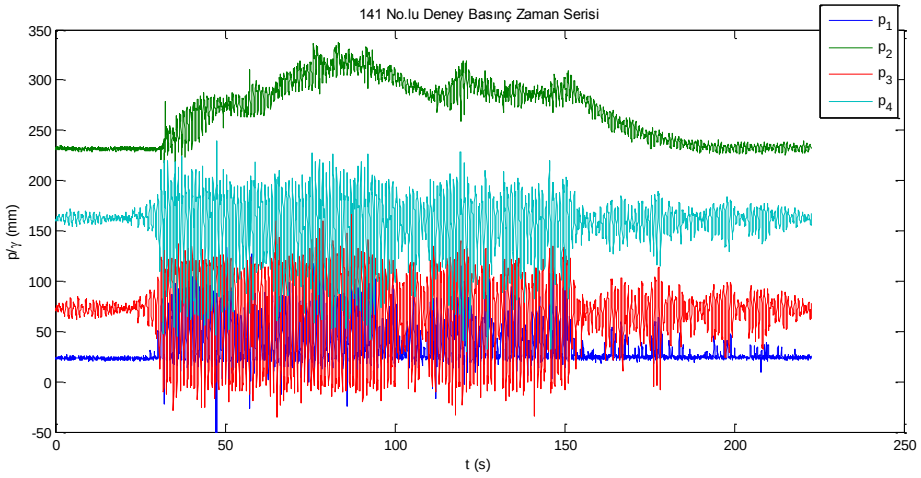
Şekil C.36 : 138 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



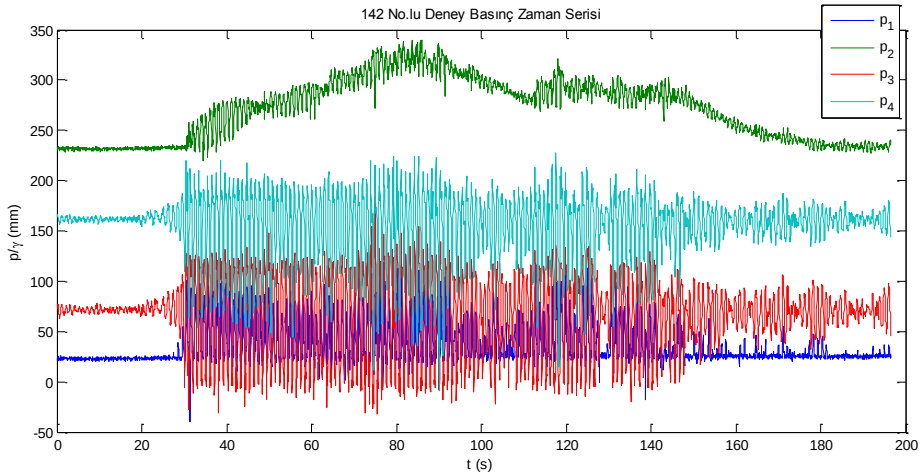
Şekil C.37 : 139 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



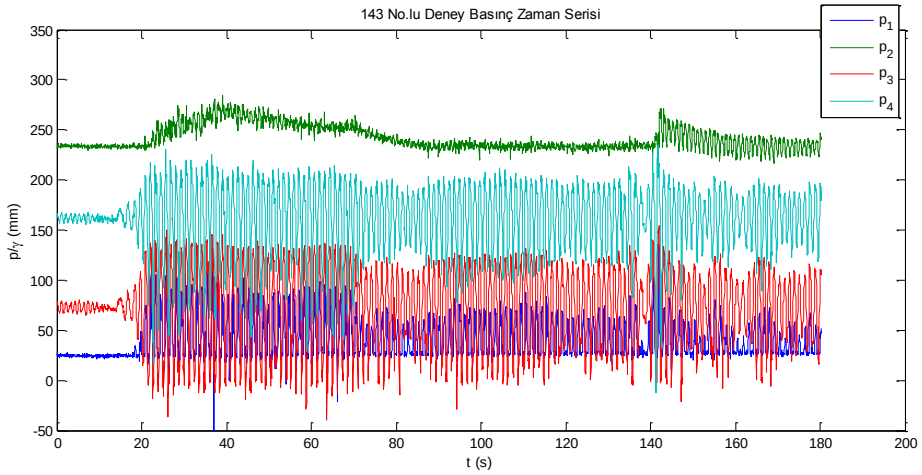
Şekil C.38 : 140 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



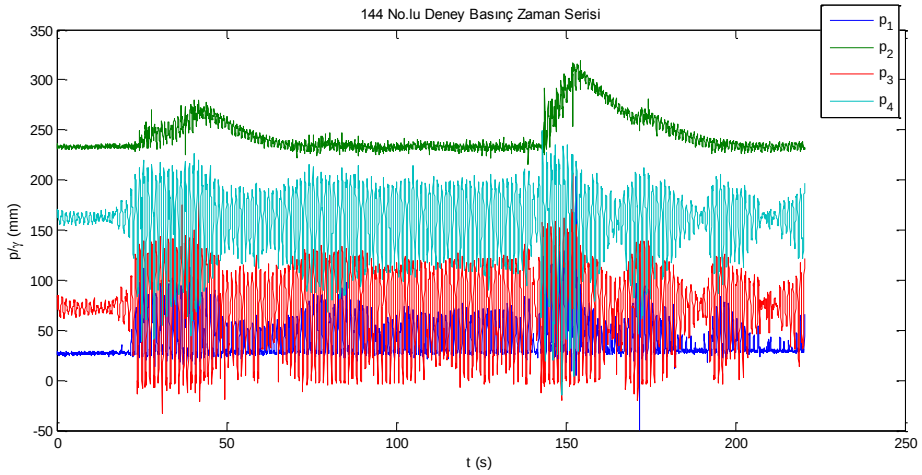
Şekil C.39 : 141 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



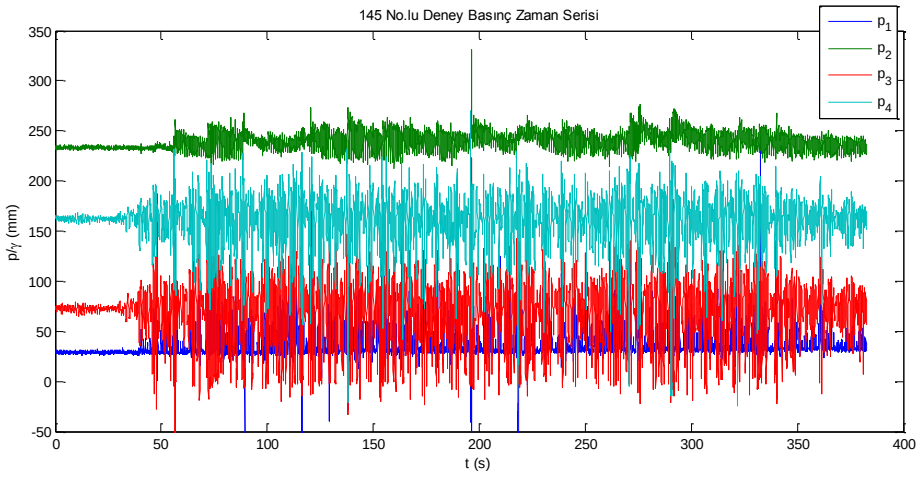
Şekil C.40 : 142 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



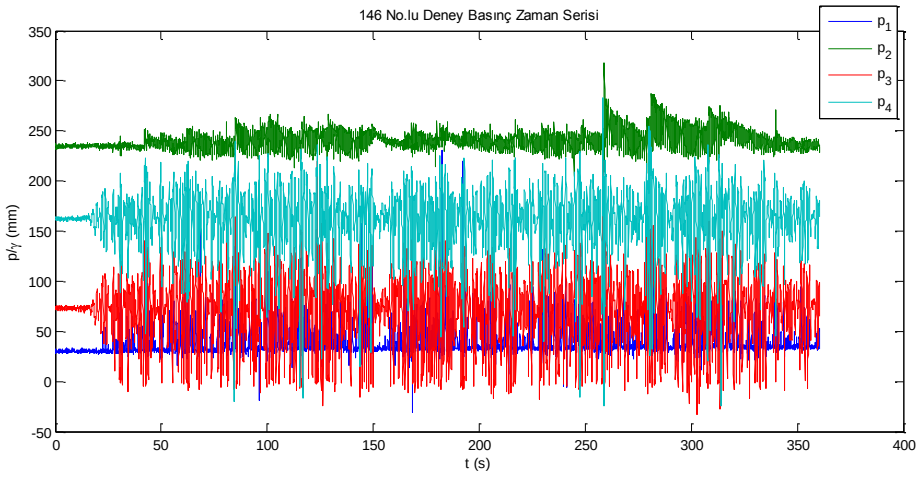
Şekil C.41 : 143 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



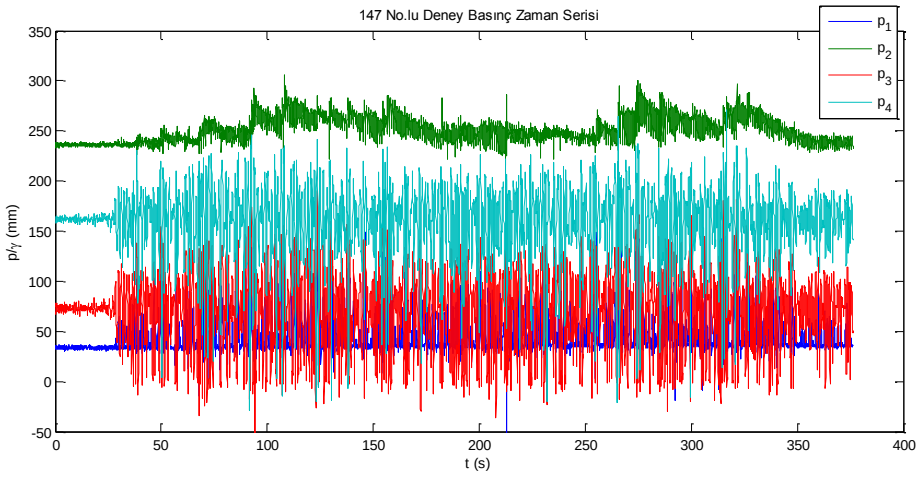
Şekil C.42 : 144 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



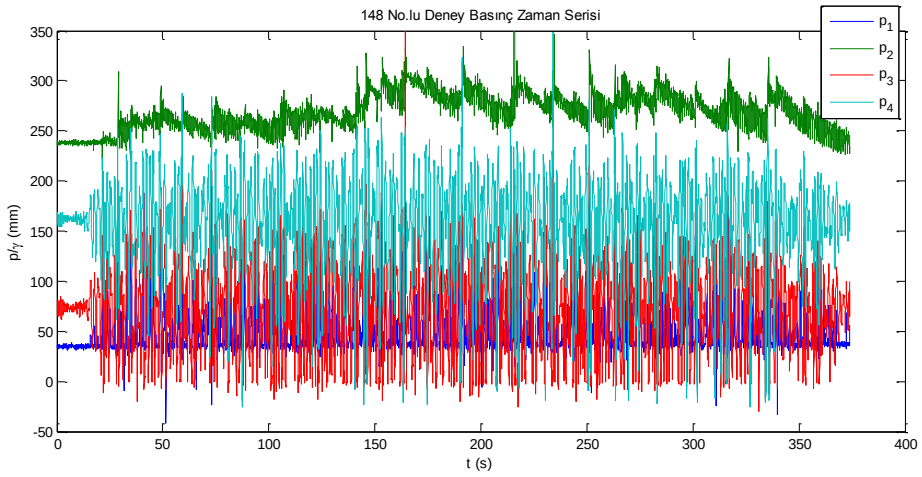
Şekil C.43 : 145 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



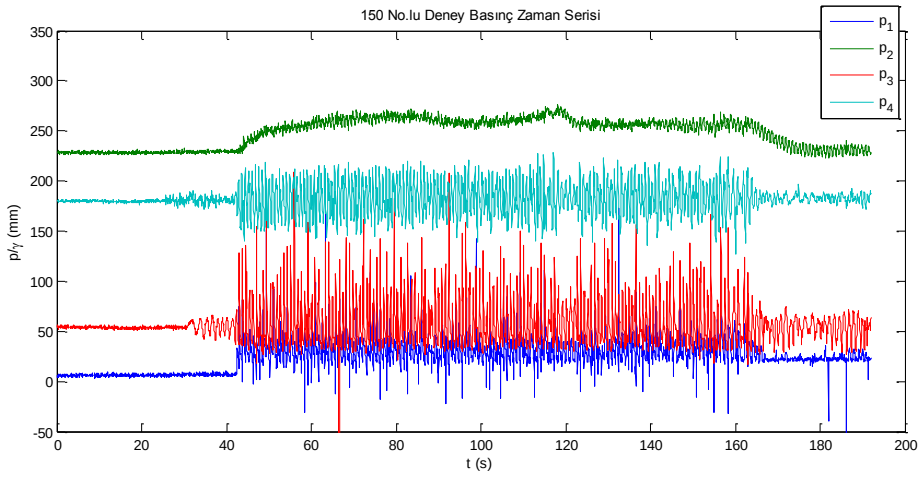
Şekil C.44 : 146 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



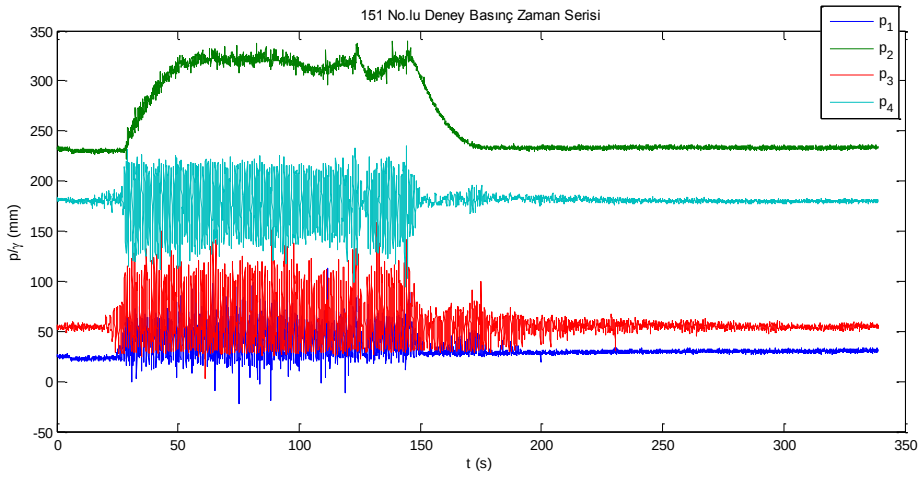
Şekil C.45 : 147 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



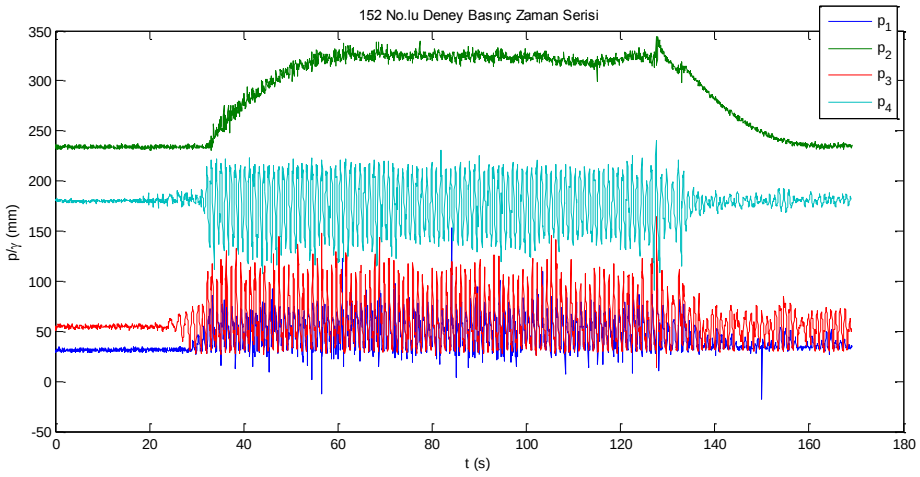
Şekil C.46 : 148 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



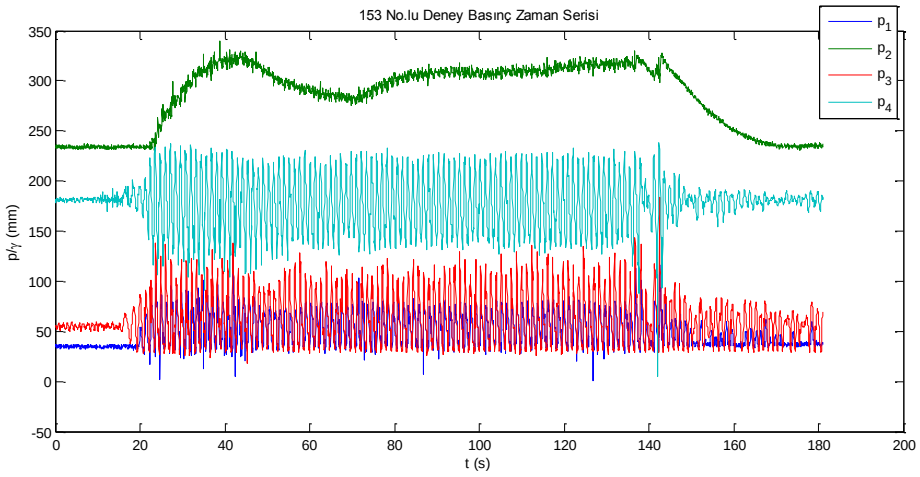
Şekil C.47 : 150 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



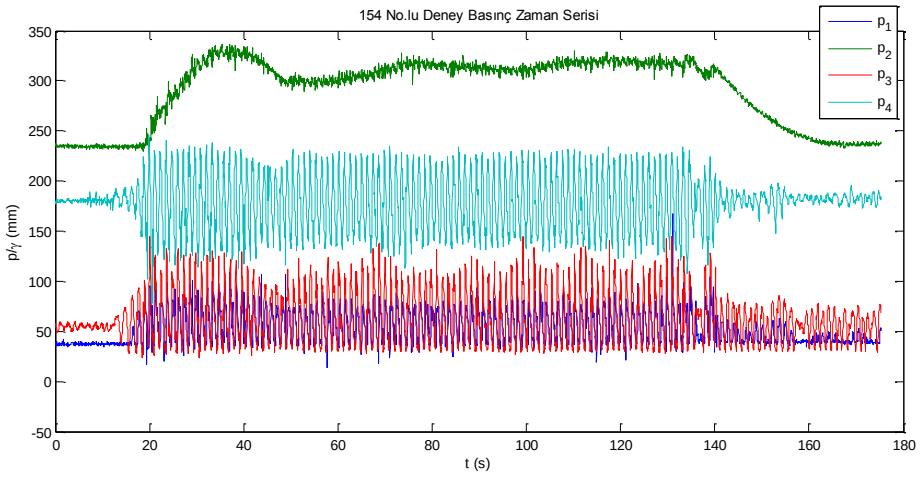
Şekil C.48 : 151 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



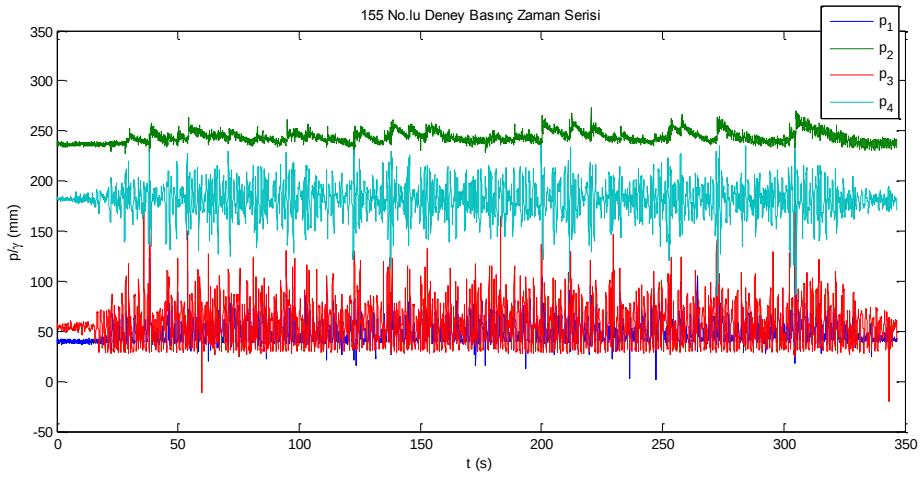
Şekil C.49 : 152 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



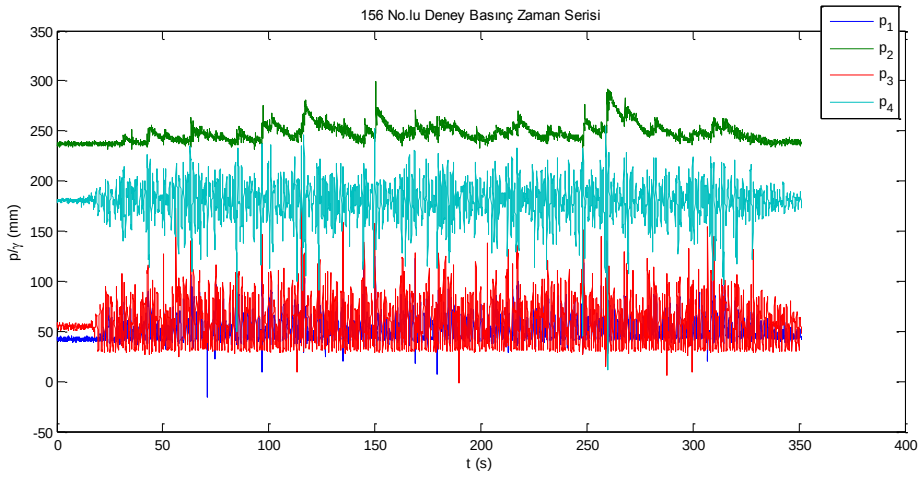
Şekil C.50 : 153 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



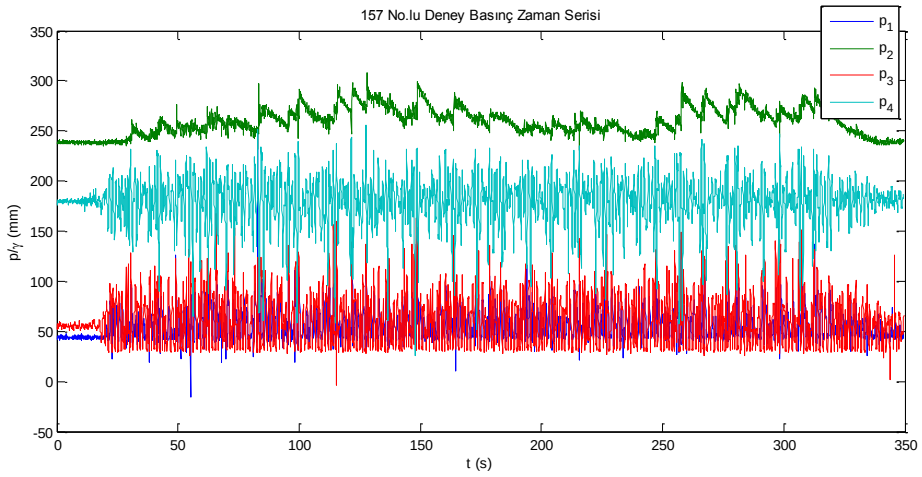
Şekil C.51 : 154 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



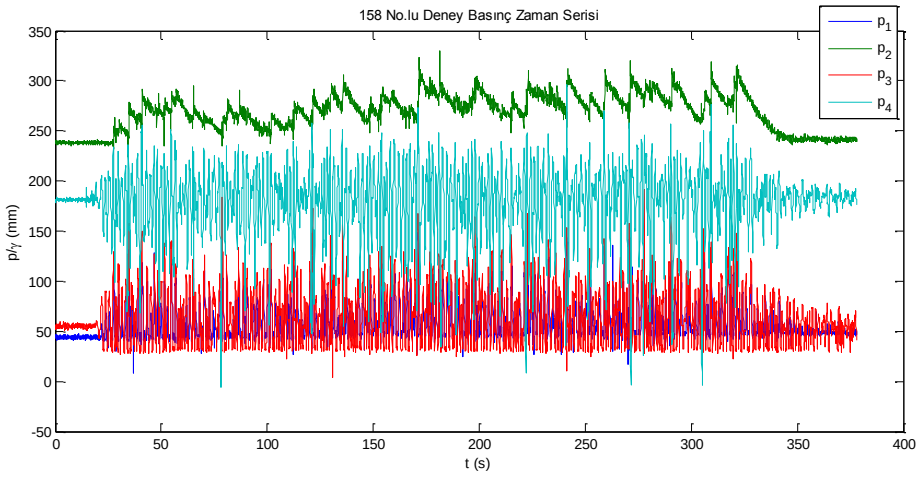
Şekil C.52 : 155 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



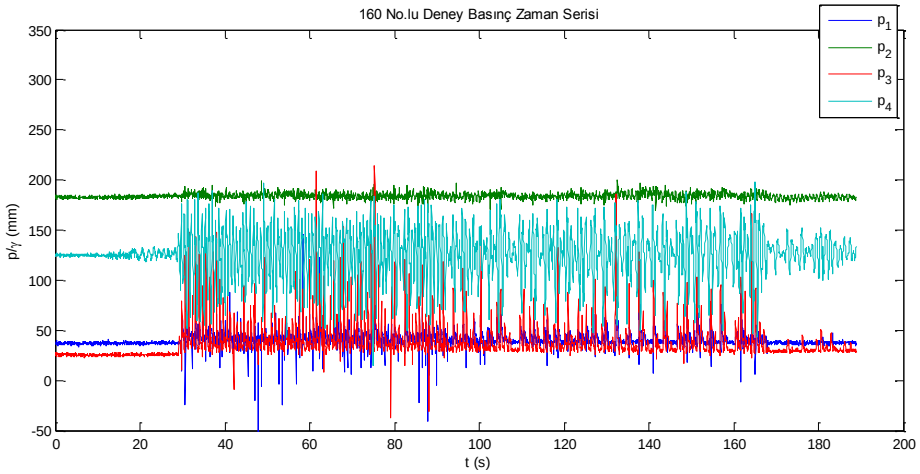
Şekil C.53 : 156 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



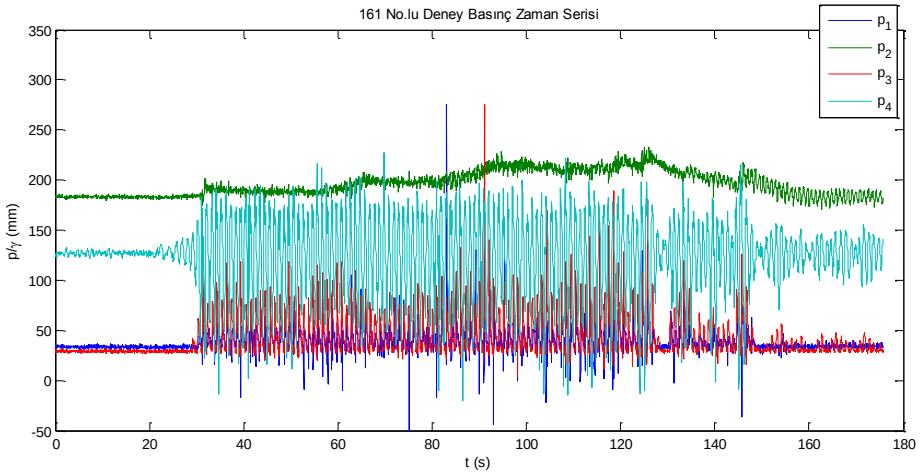
Şekil C.54 : 157 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



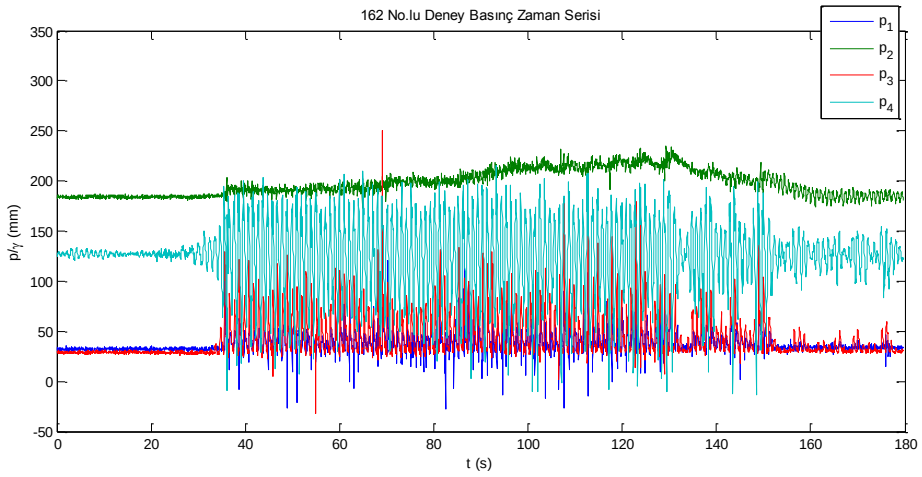
Şekil C.55 : 158 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



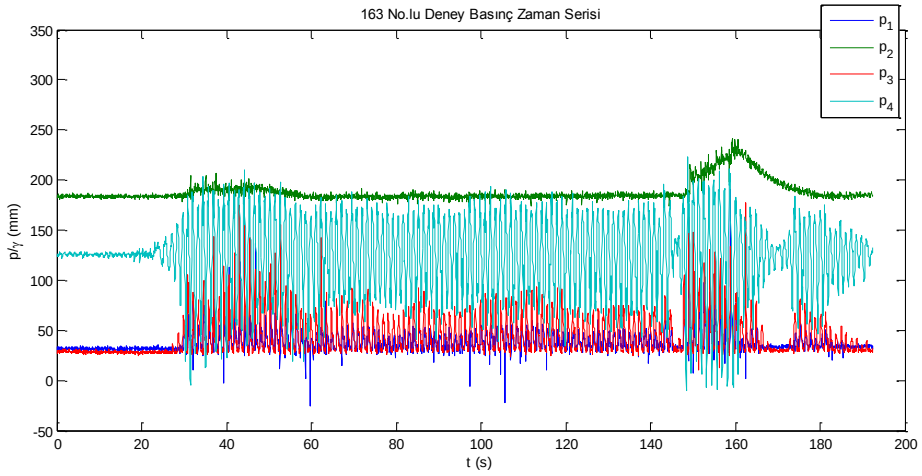
Şekil C.56 : 160 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



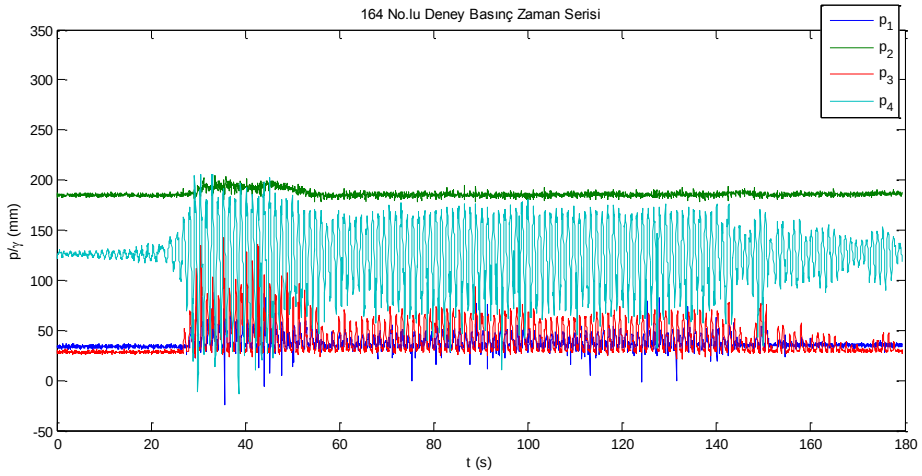
Şekil C.57 : 161 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



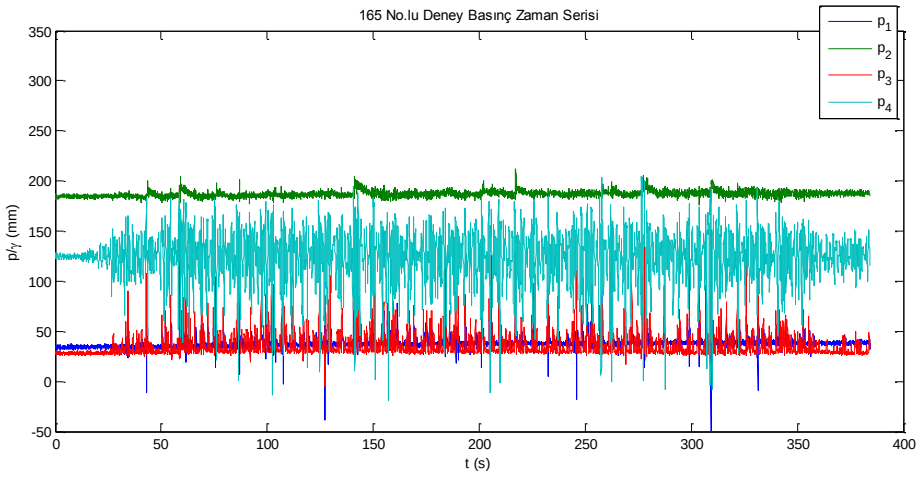
Şekil C.58 : 162 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



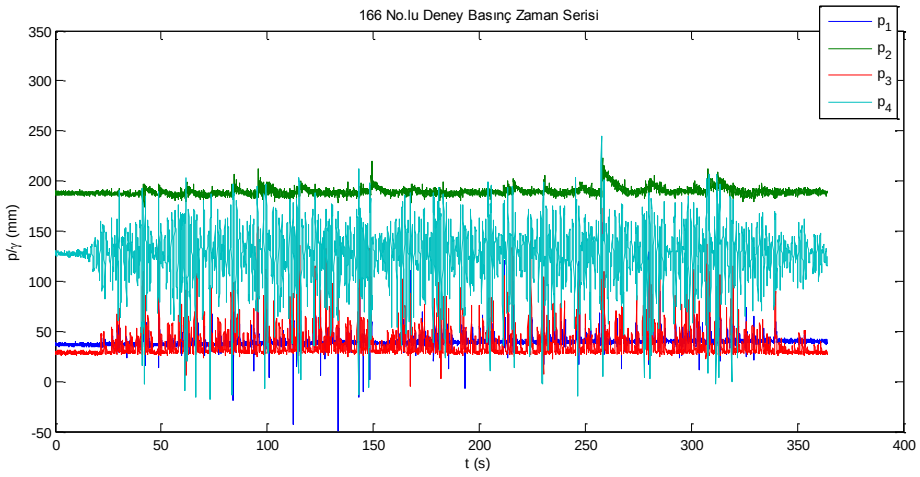
Şekil C.59 : 163 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



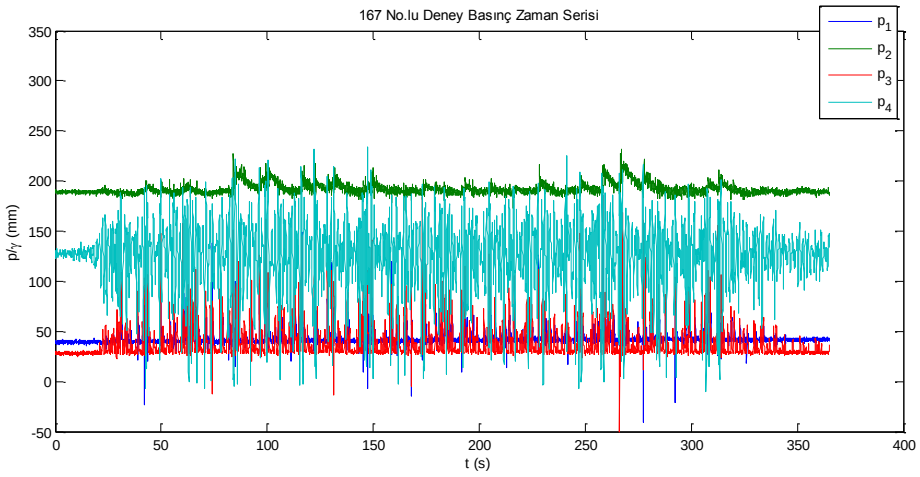
Şekil C.60 : 164 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



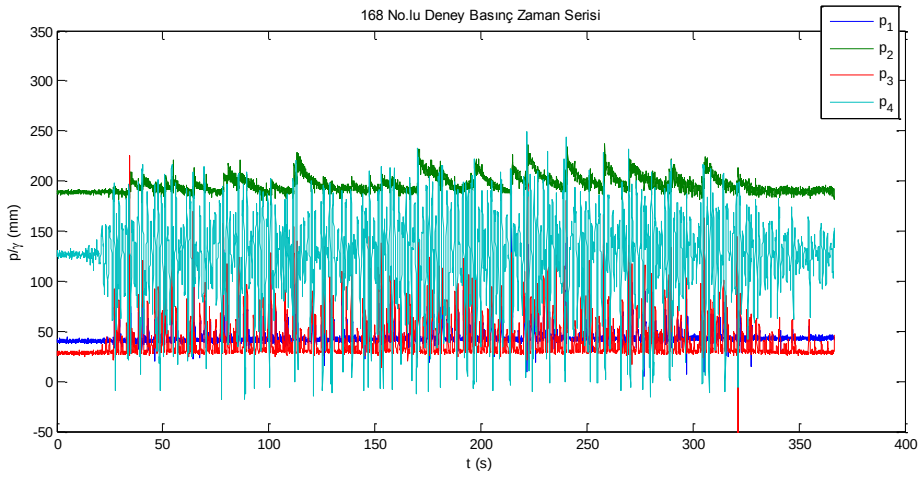
Şekil C.61 : 165 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



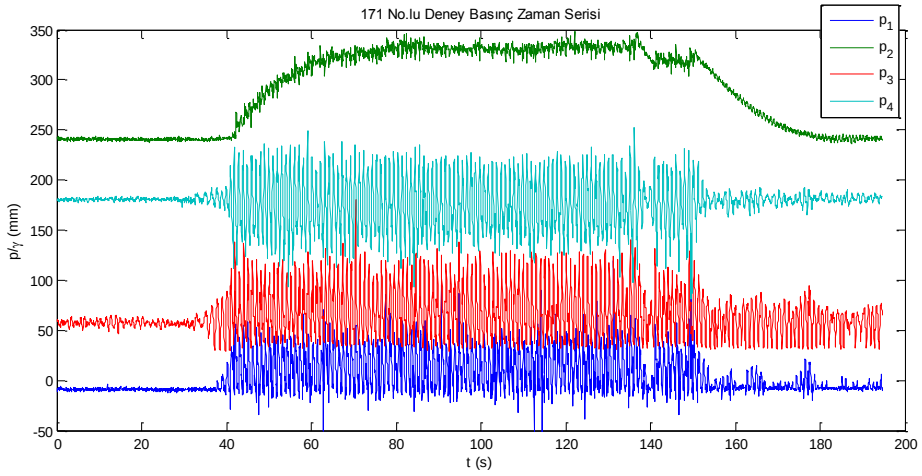
Şekil C.62 : 166 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



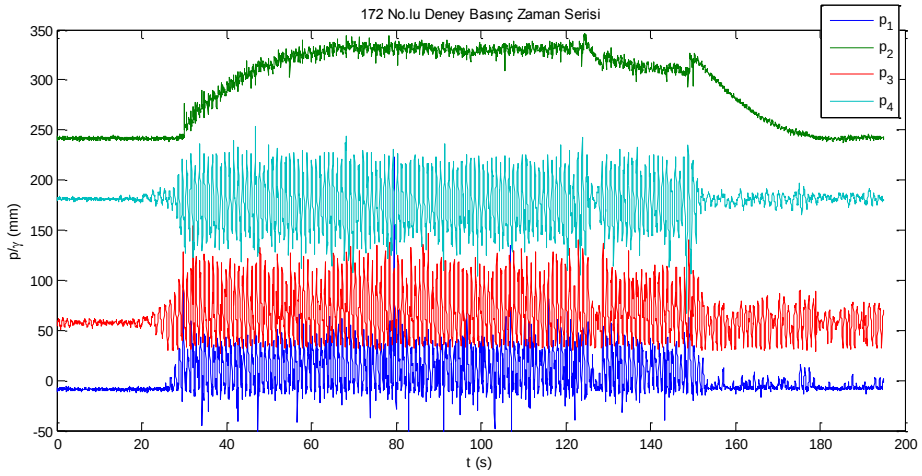
Şekil C.63 : 167 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



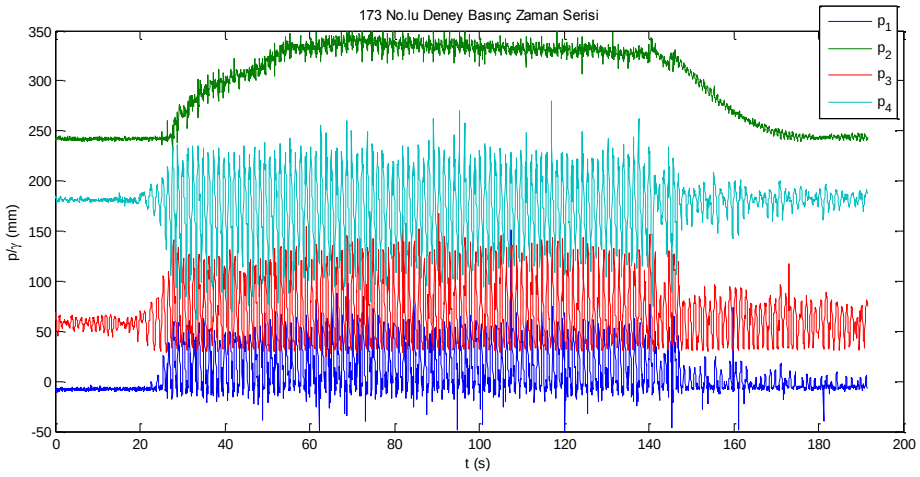
Şekil C.64 : 168 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



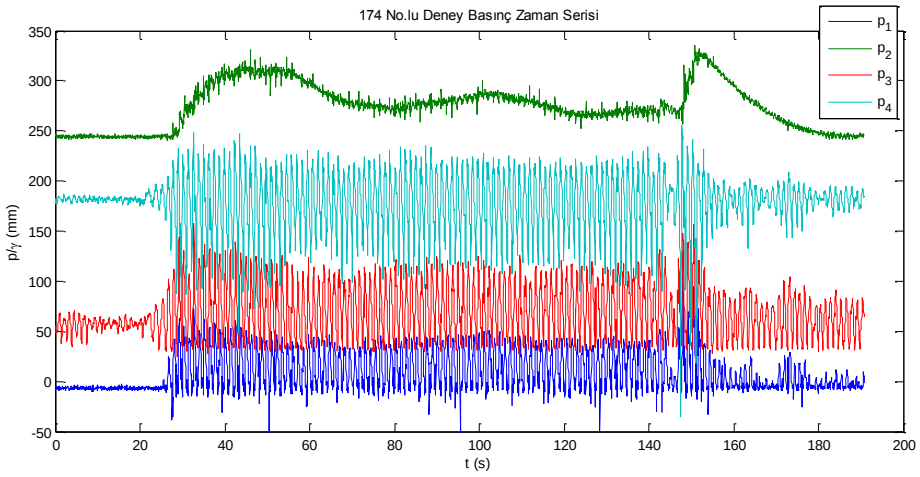
Şekil C.65 : 171 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



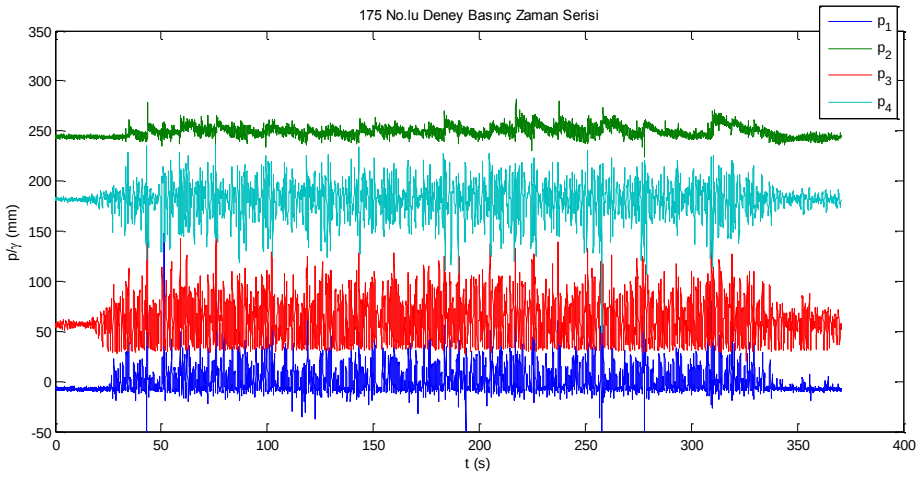
Şekil C.66 : 172 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



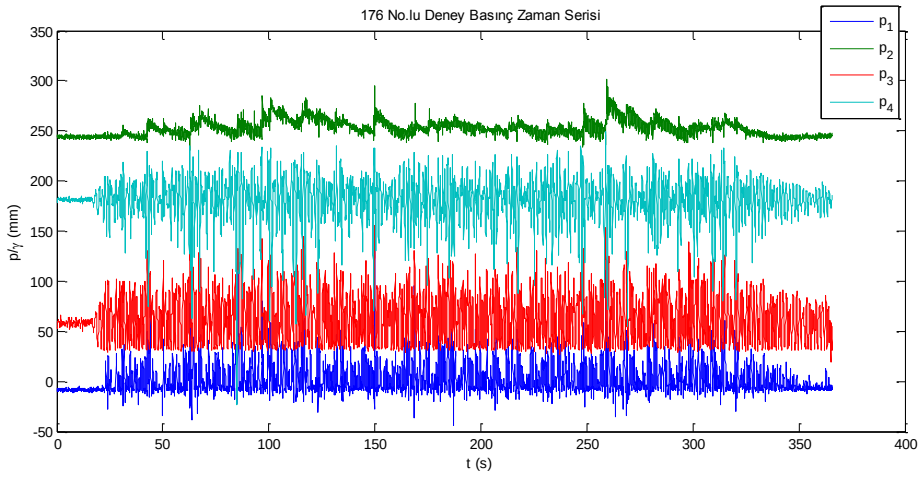
Şekil C.67 : 173 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



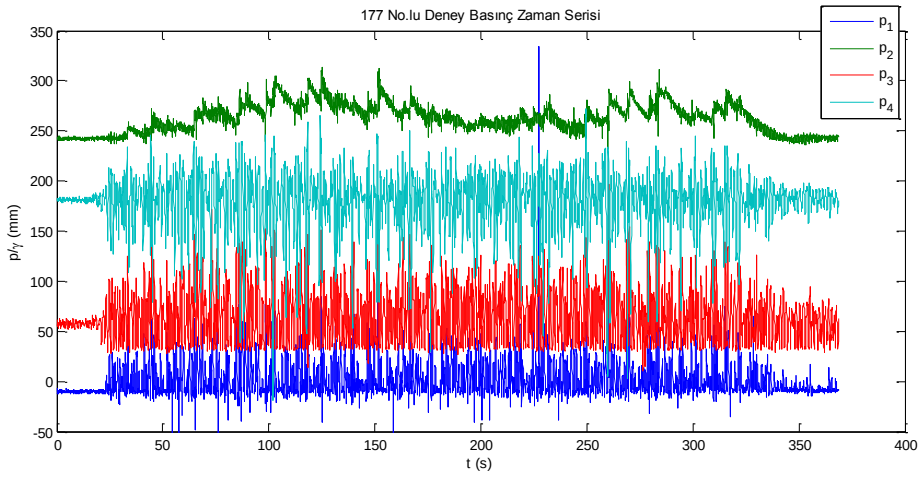
Şekil C.68 : 174 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



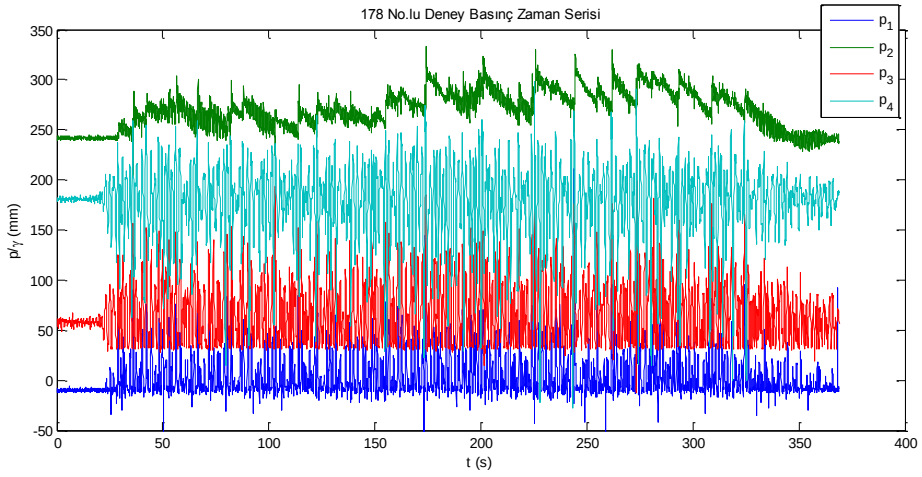
Şekil C.69 : 175 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



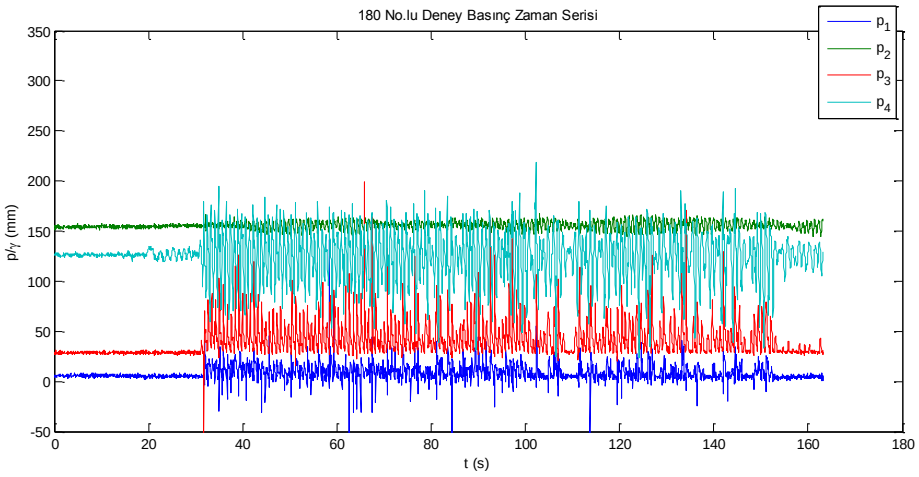
Şekil C.70 : 176 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



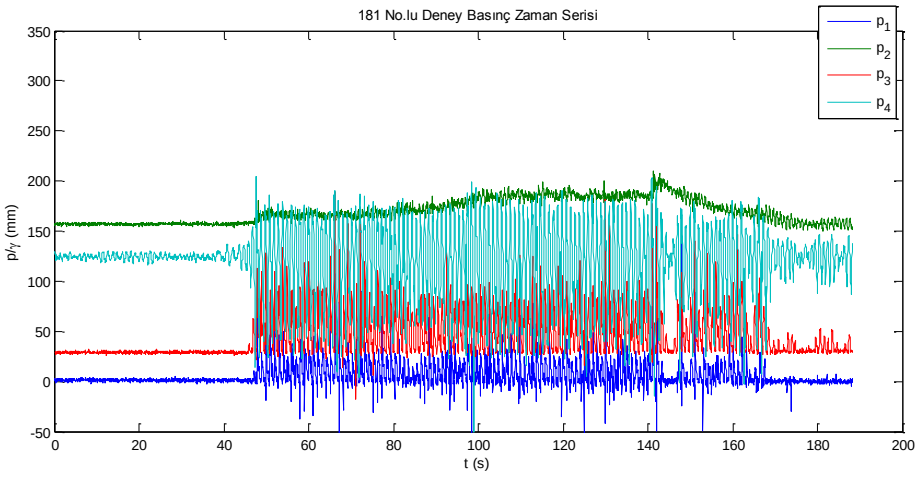
Şekil C.71 : 177 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



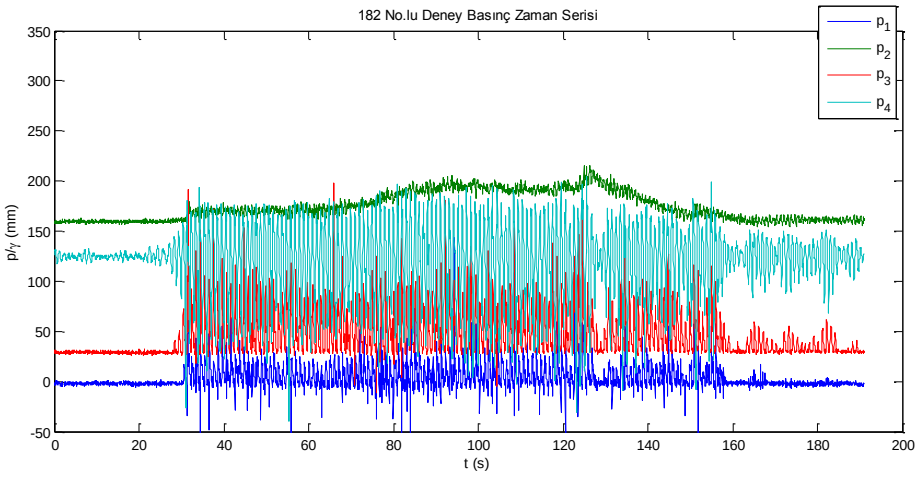
Şekil C.72 : 178 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



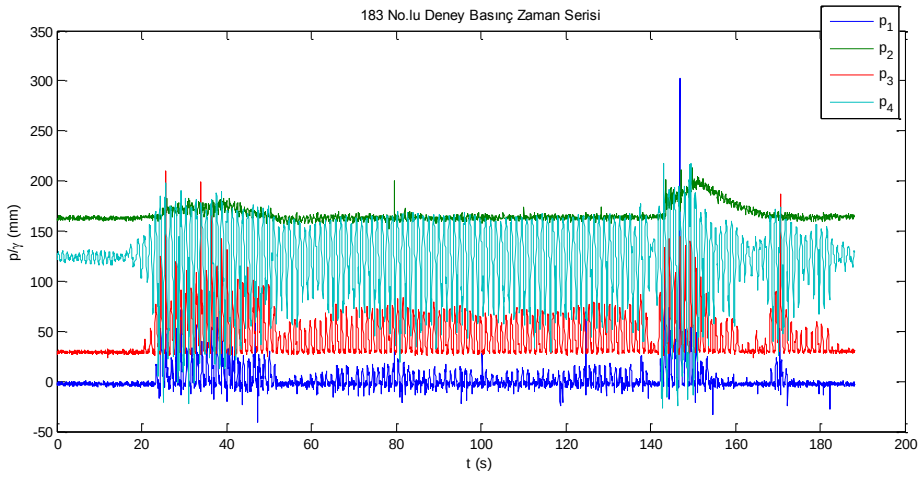
Şekil C.73 : 180 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



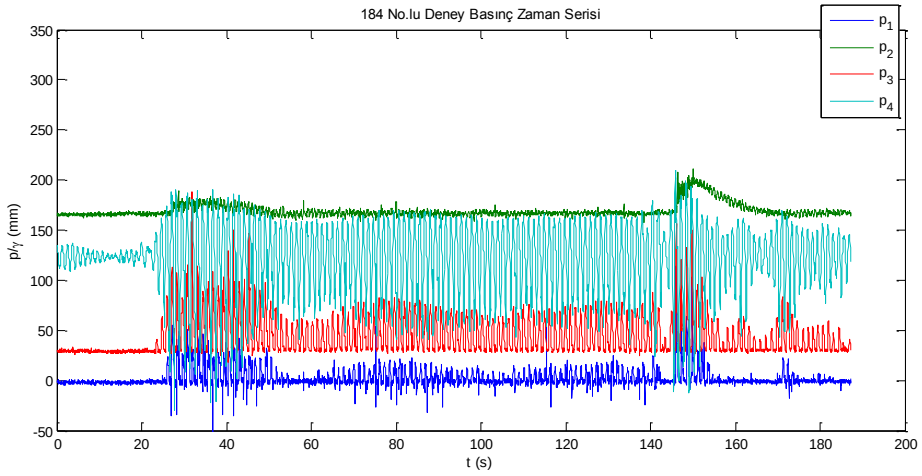
Şekil C.74 : 181 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



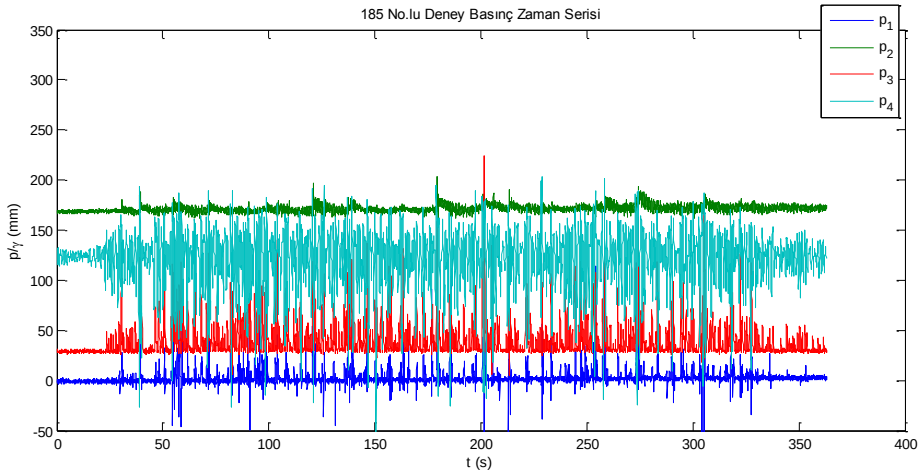
Şekil C.75 : 182 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



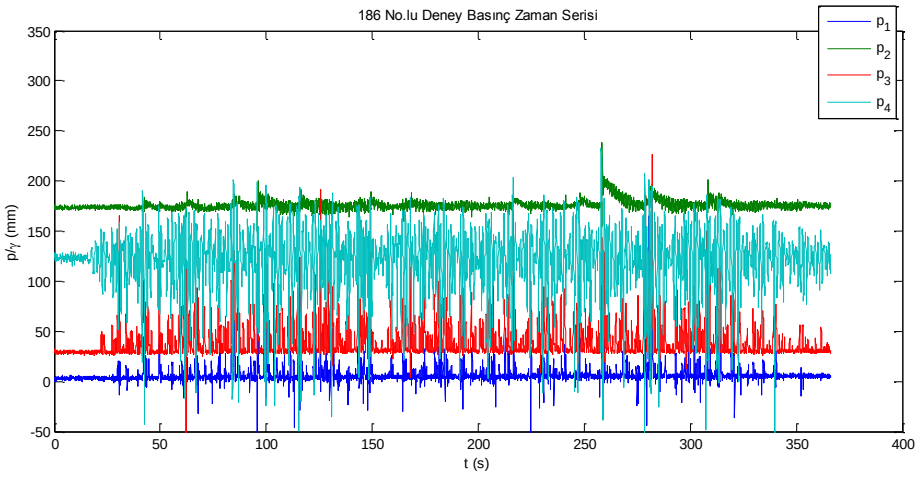
Şekil C.76 : 183 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



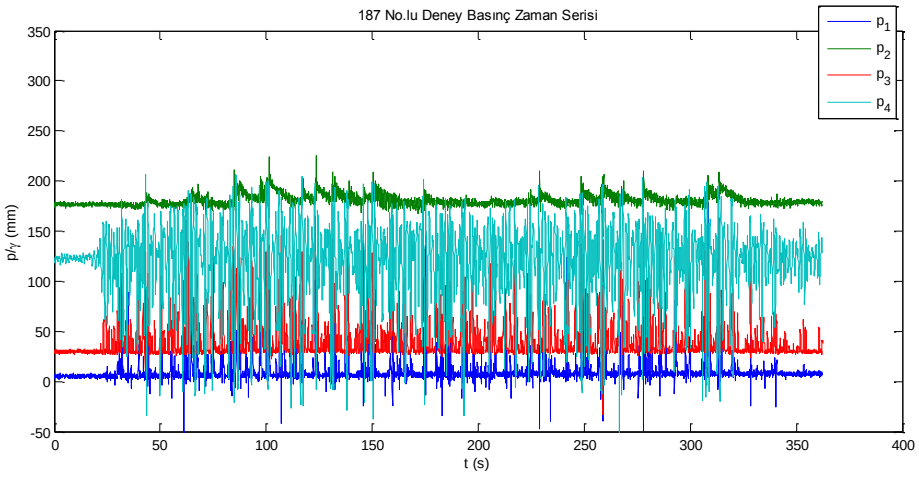
Şekil C.77 : 184 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



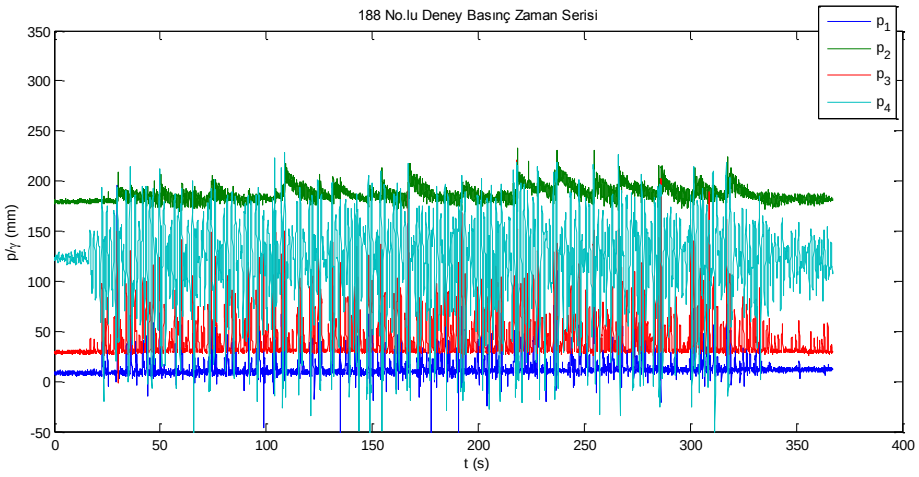
Şekil C.78 : 185 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



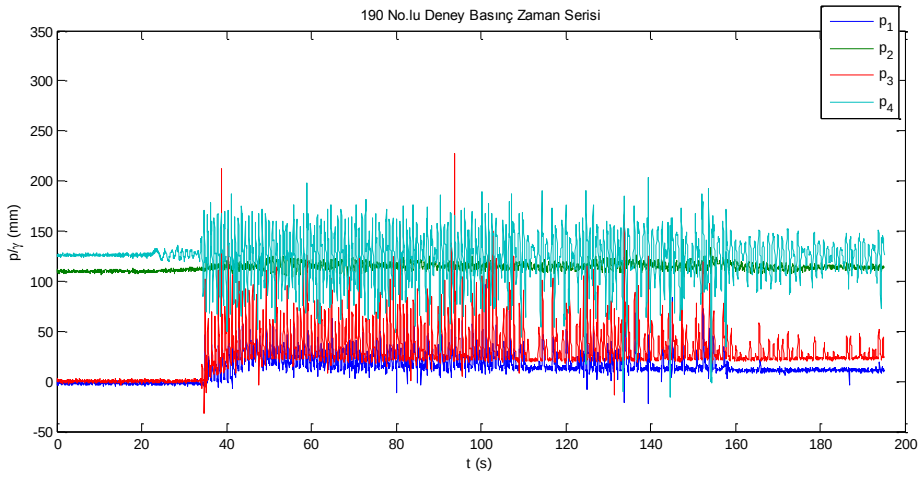
Şekil C.79 : 186 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



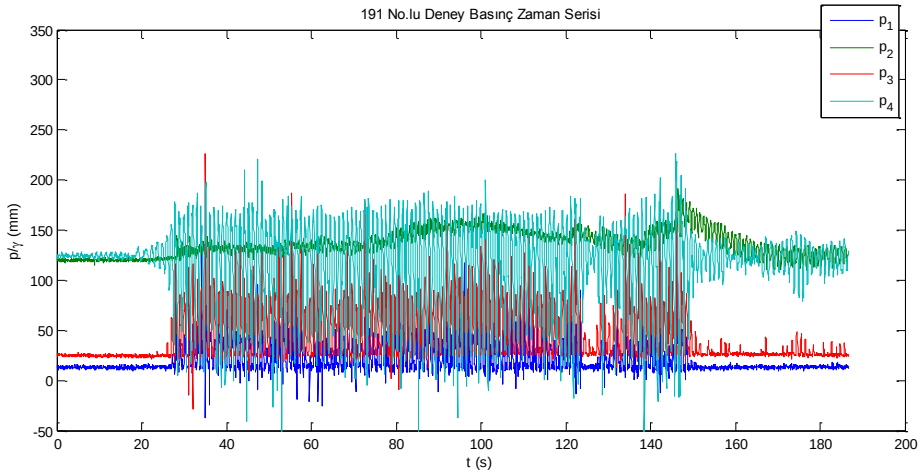
Şekil C.80 : 187 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



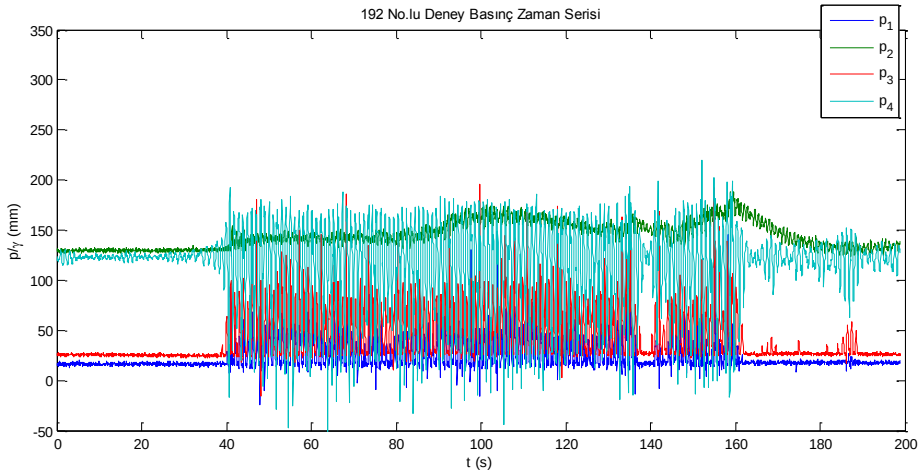
Şekil C.81 : 188 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



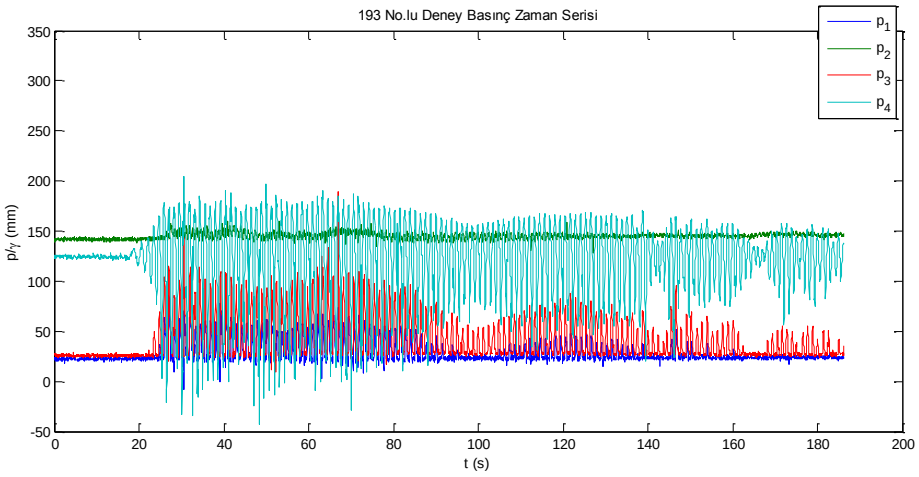
Şekil C.82 : 190 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



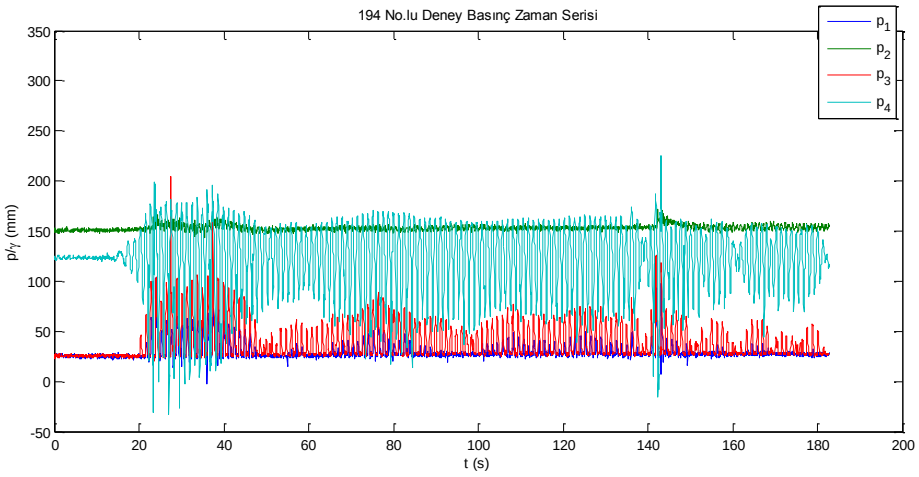
Şekil C.83 : 191 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



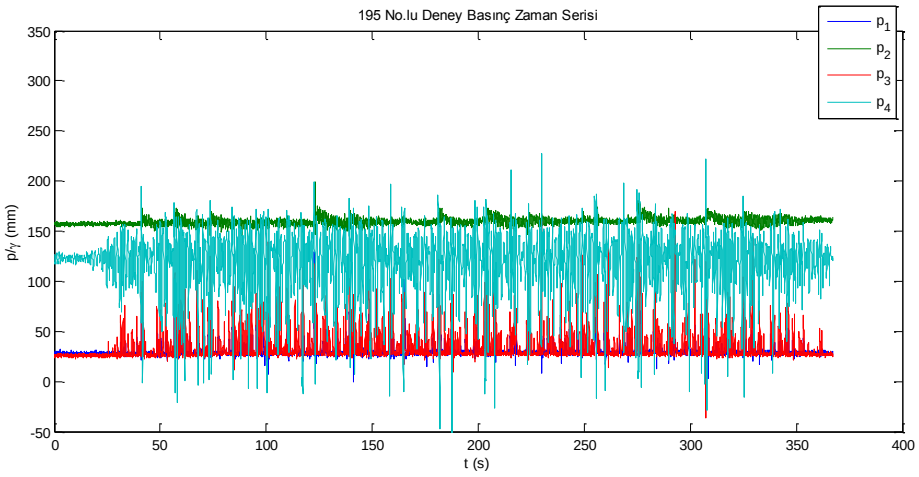
Şekil C.84 : 192 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



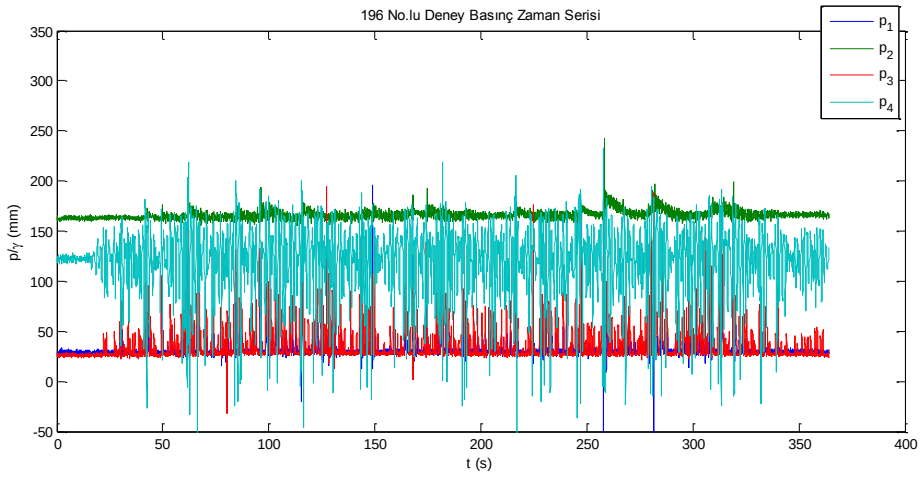
Şekil C.85 : 193 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



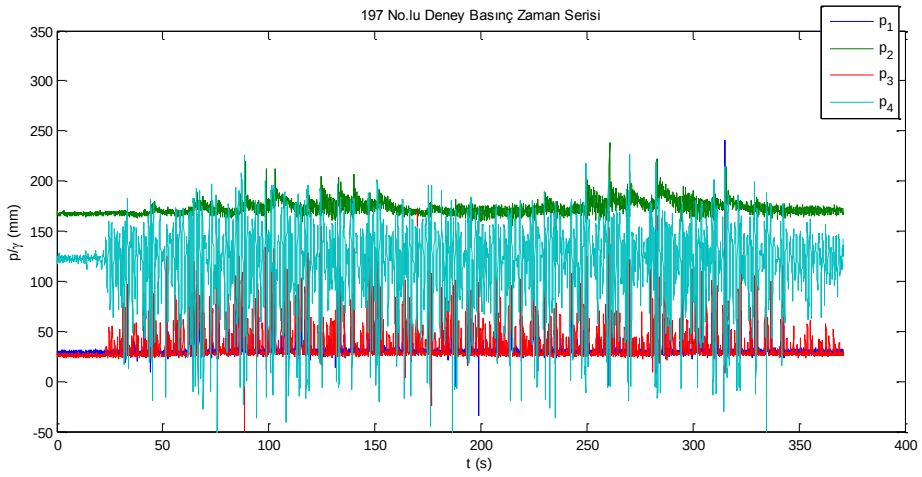
Şekil C.86 : 194 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



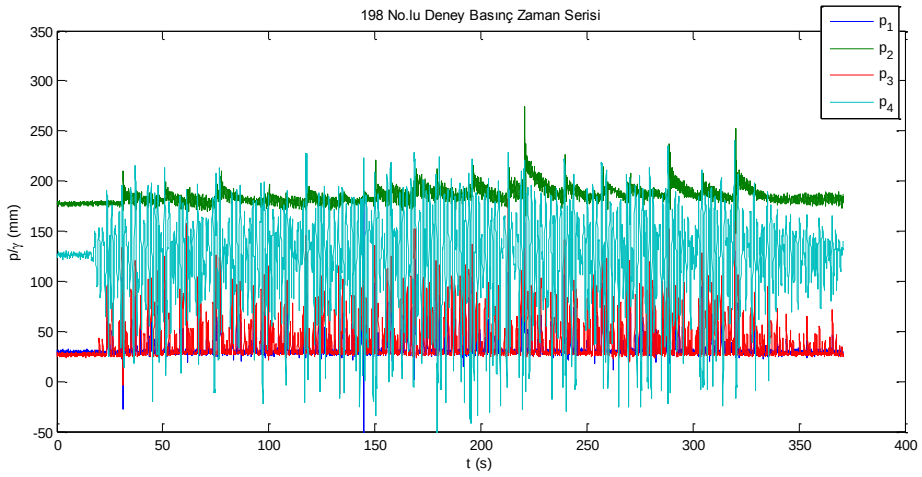
Şekil C.87 : 195 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



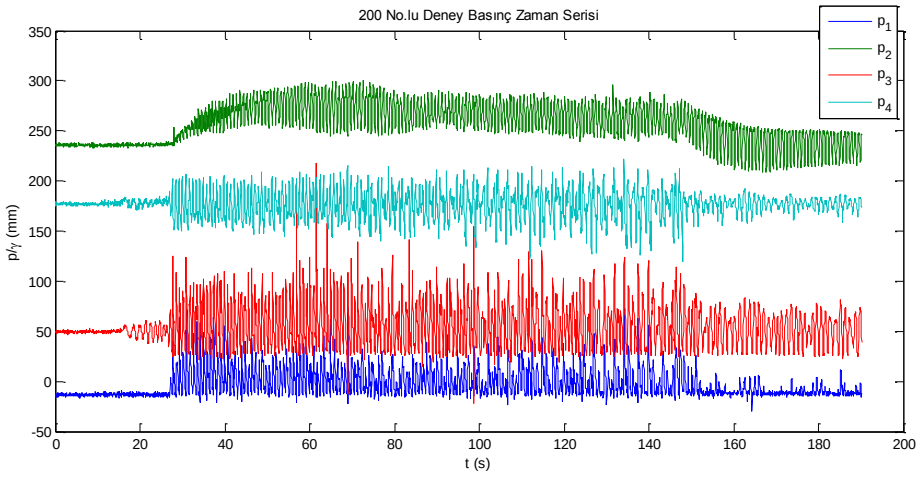
Şekil C.88 : 196 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



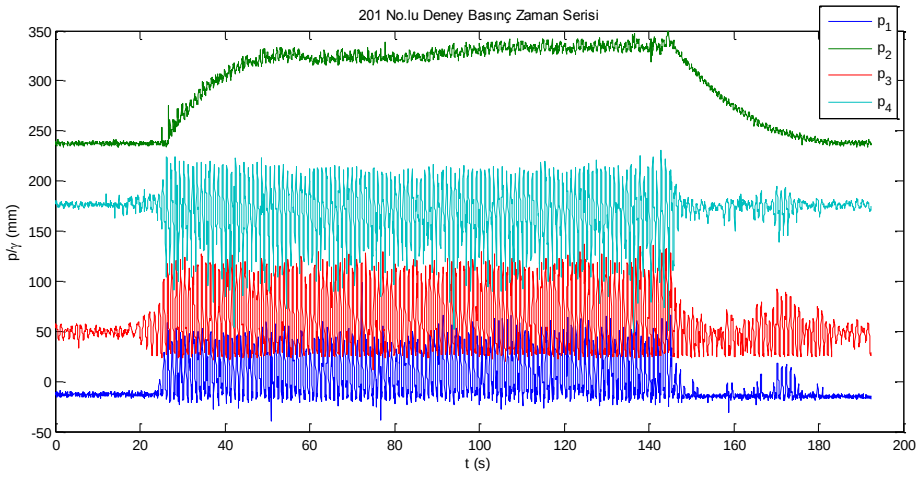
Şekil C.89 : 197 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



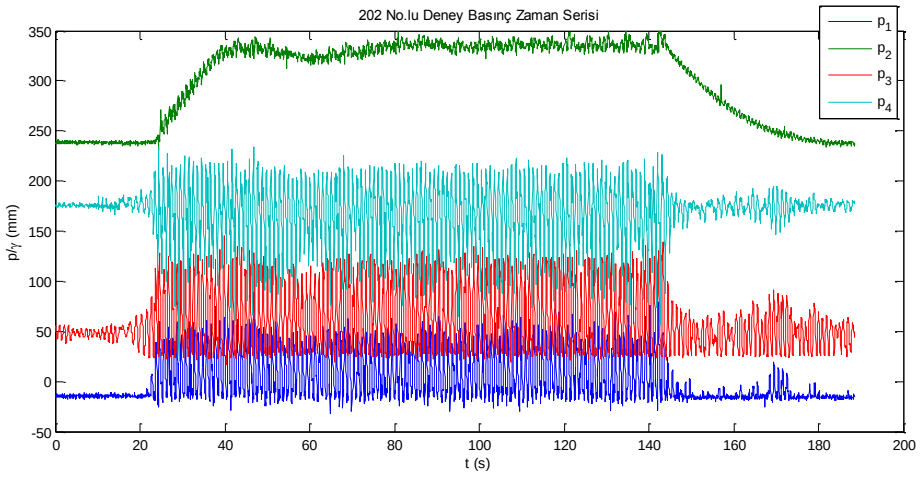
Şekil C.90 : 198 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



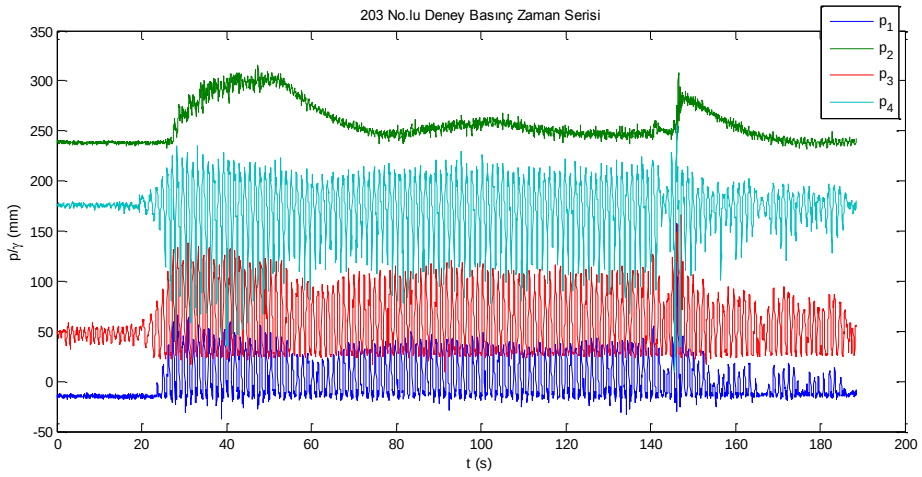
Şekil C.91 : 200 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



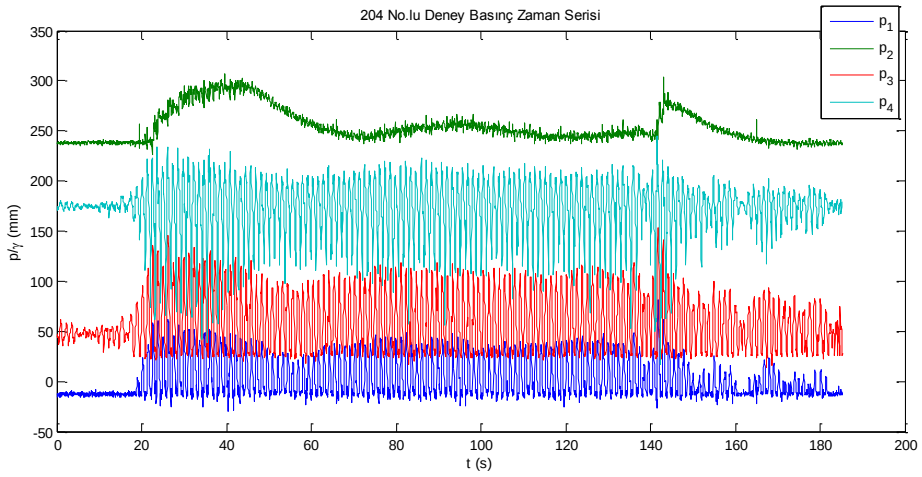
Şekil C.92 : 201 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



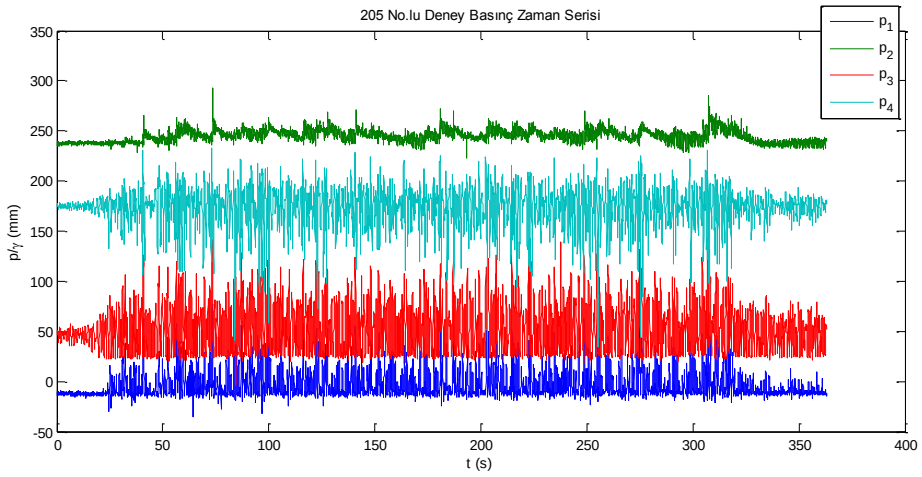
Şekil C.93 : 202 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



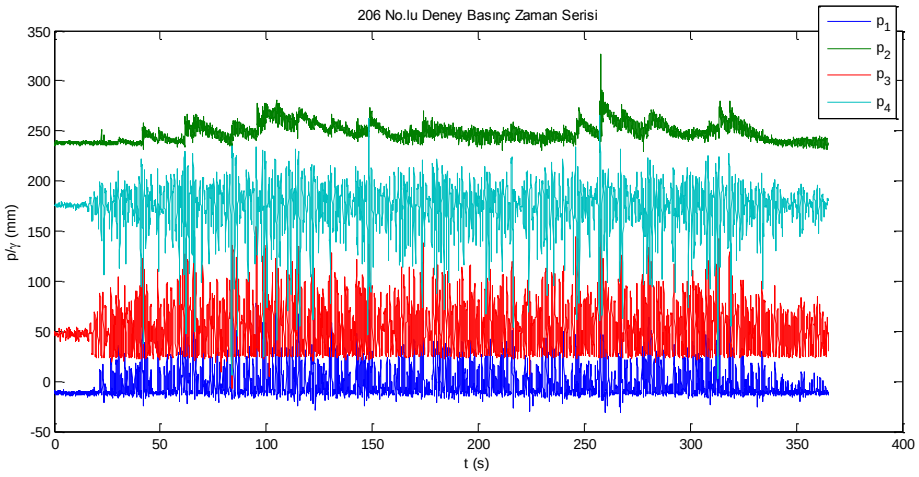
Şekil C.94 : 203 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



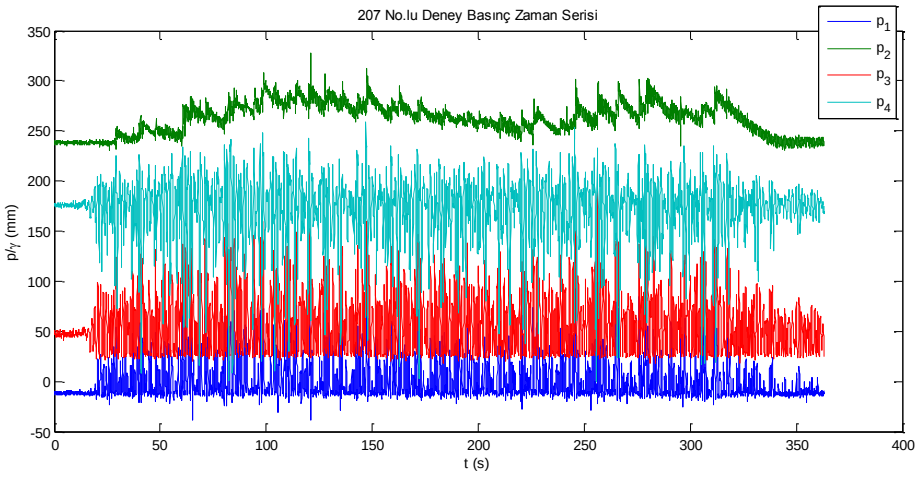
Şekil C.95 : 204 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



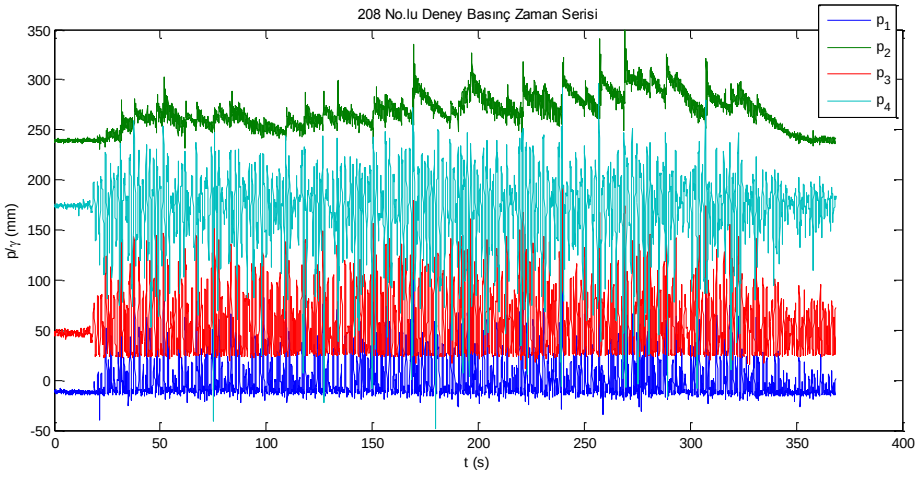
Şekil C.96 : 205 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



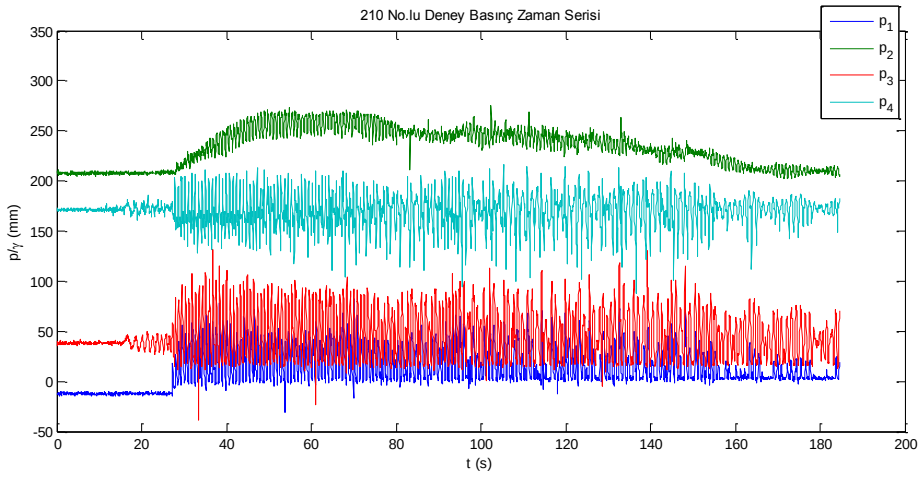
Şekil C.97 : 206 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



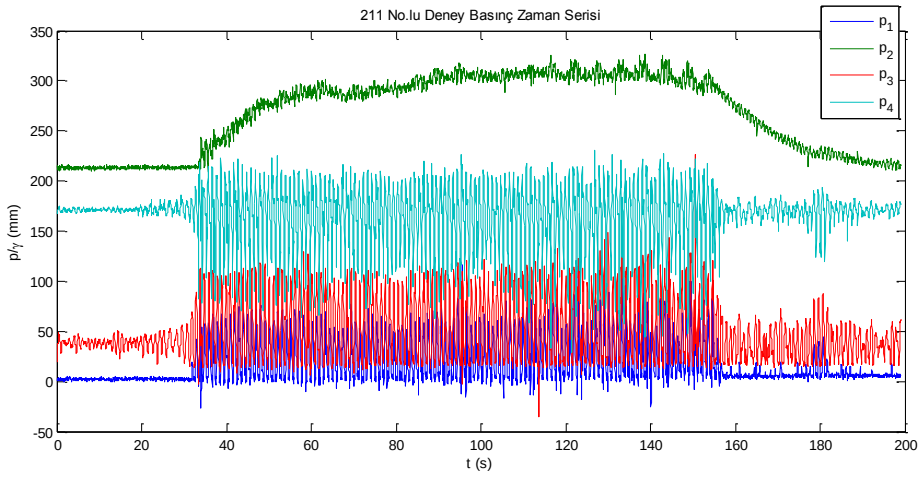
Şekil C.98 : 207 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



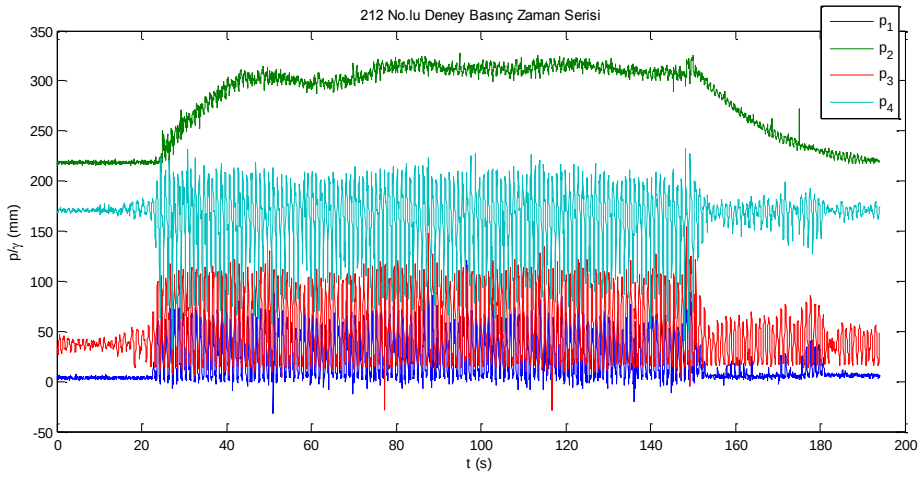
Şekil C.99 : 208 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



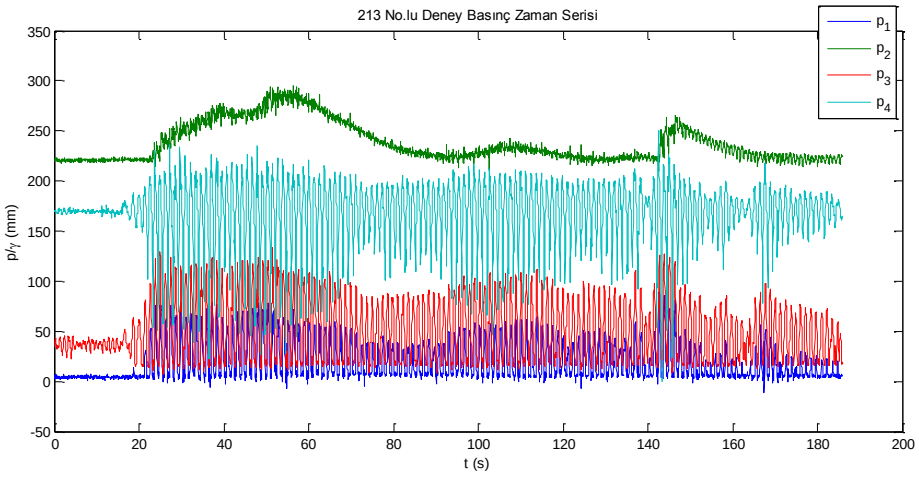
Şekil C.100 : 210 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



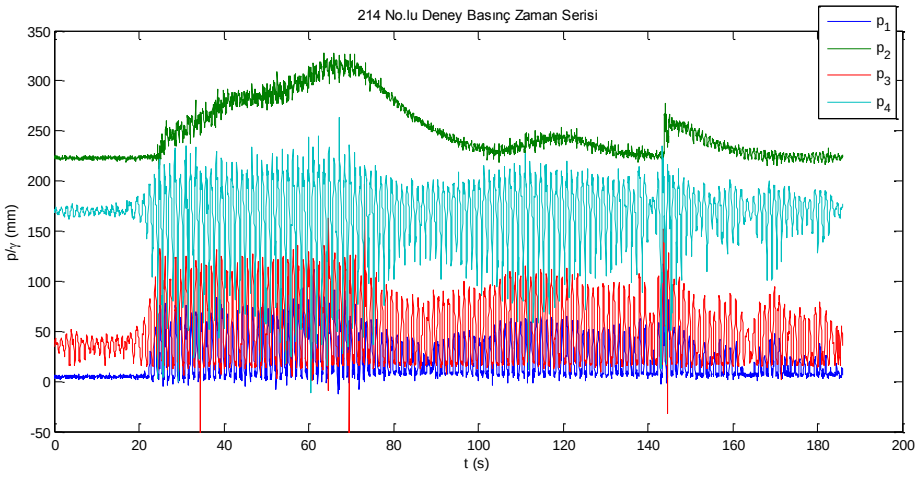
Şekil C.101 : 211 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



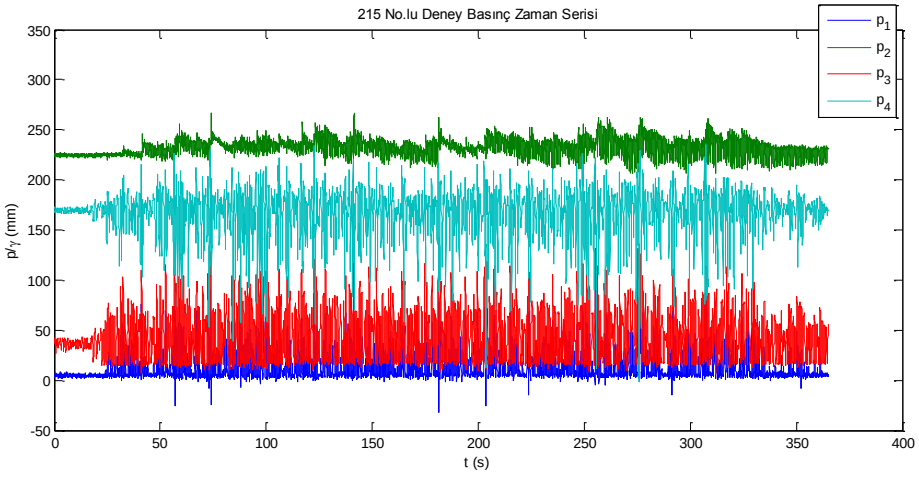
Şekil C.102 : 212 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



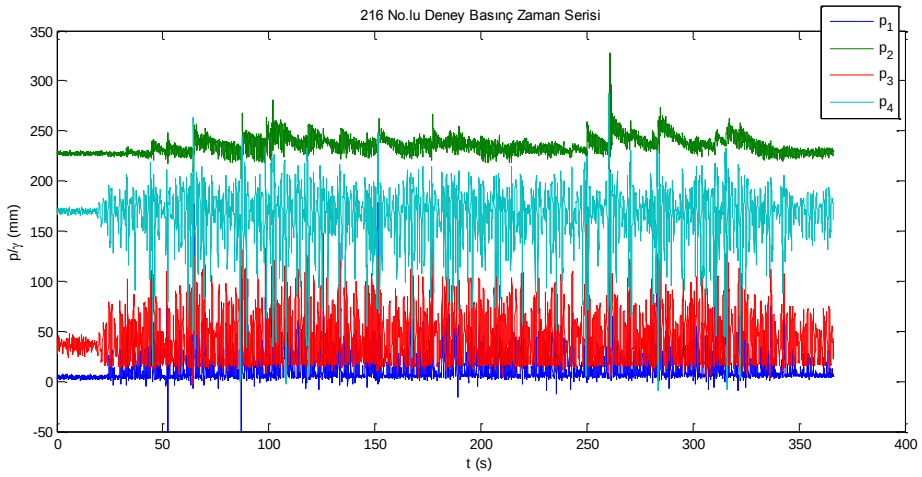
Şekil C.103 : 213 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



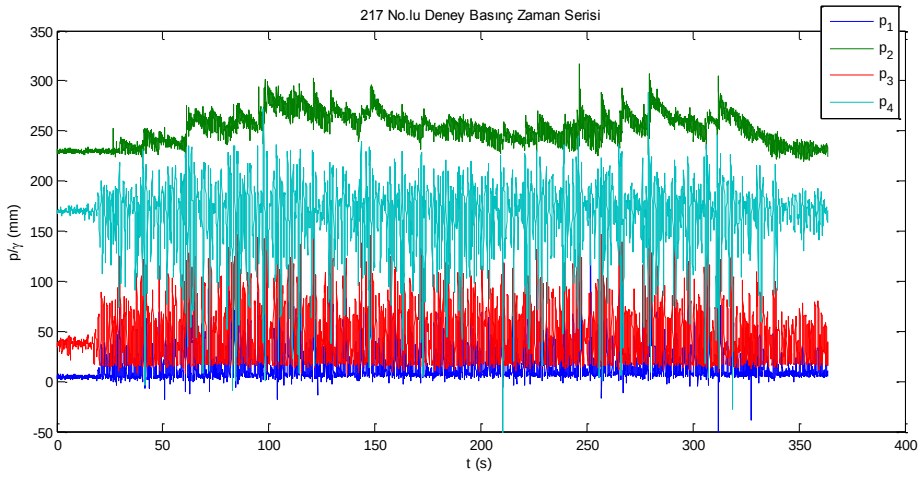
Şekil C.104 : 214 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



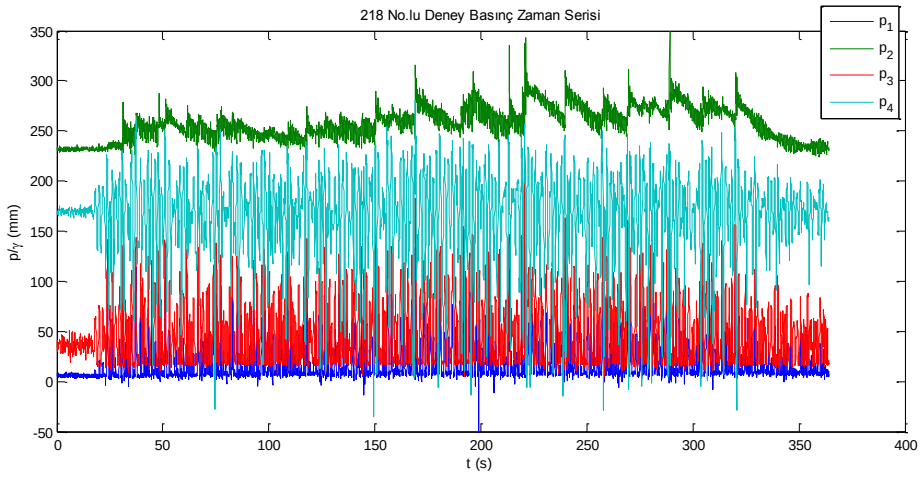
Şekil C.105 : 215 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



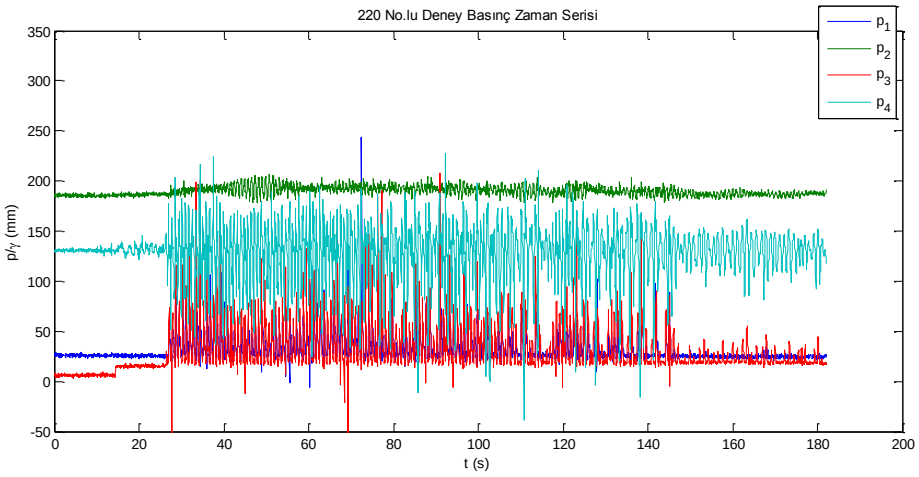
Şekil C.106 : 216 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



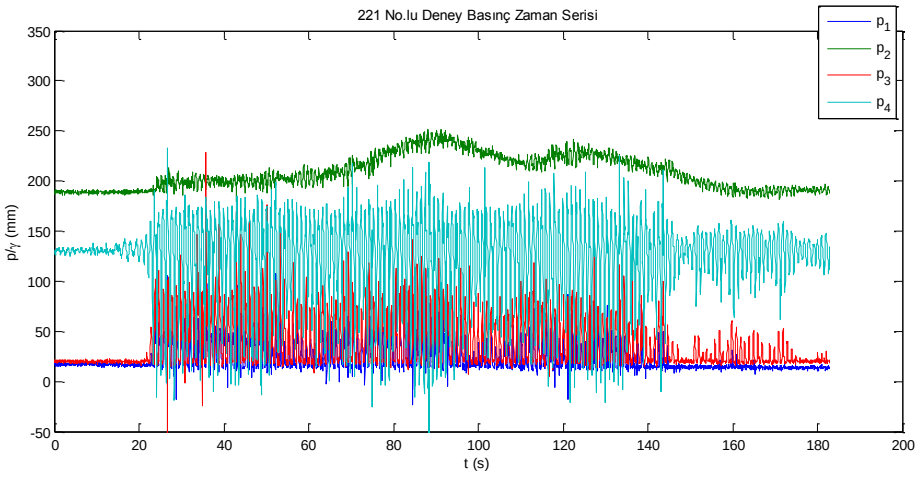
Şekil C.107 : 217 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



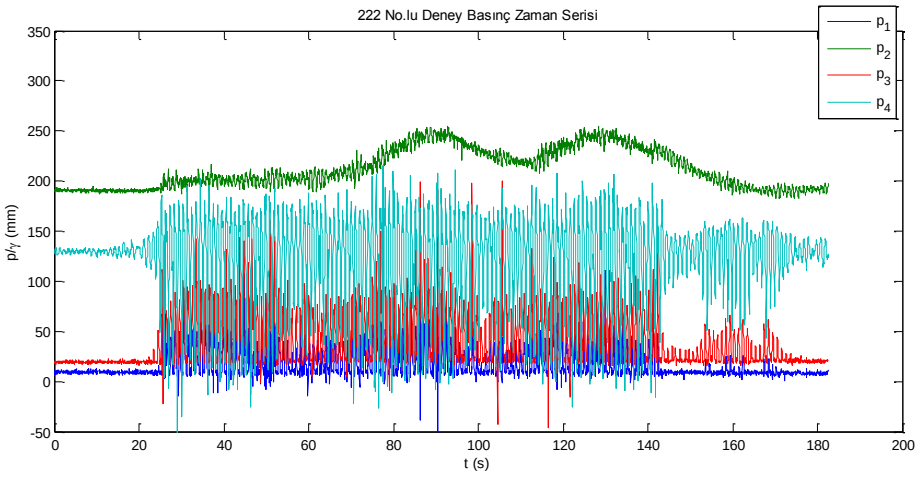
Şekil C.108 : 218 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



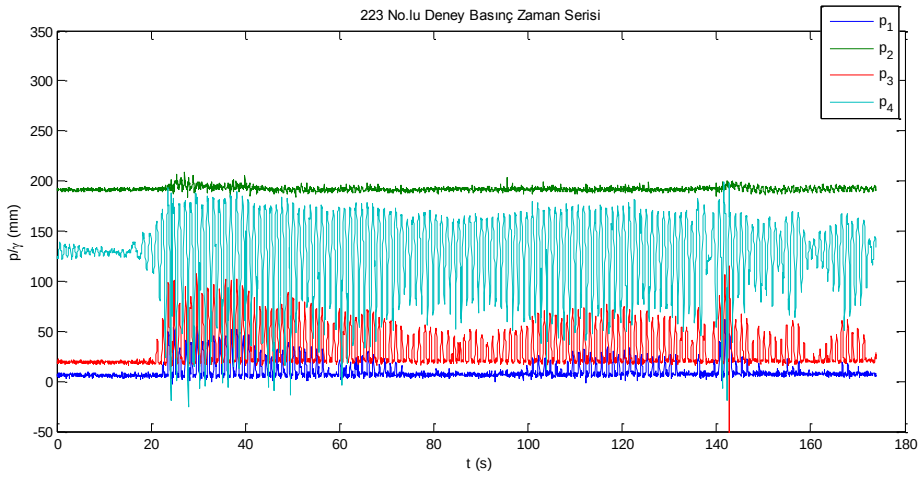
Şekil C.109 : 220 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



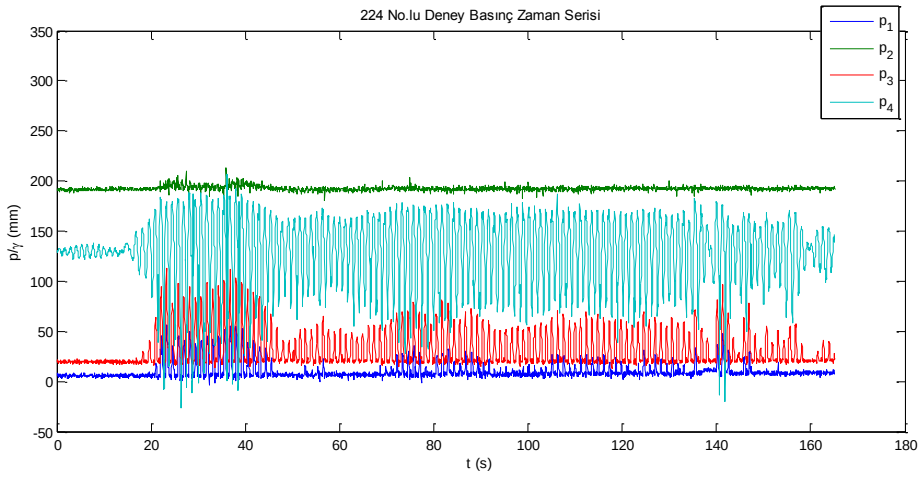
Şekil C.110 : 221 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



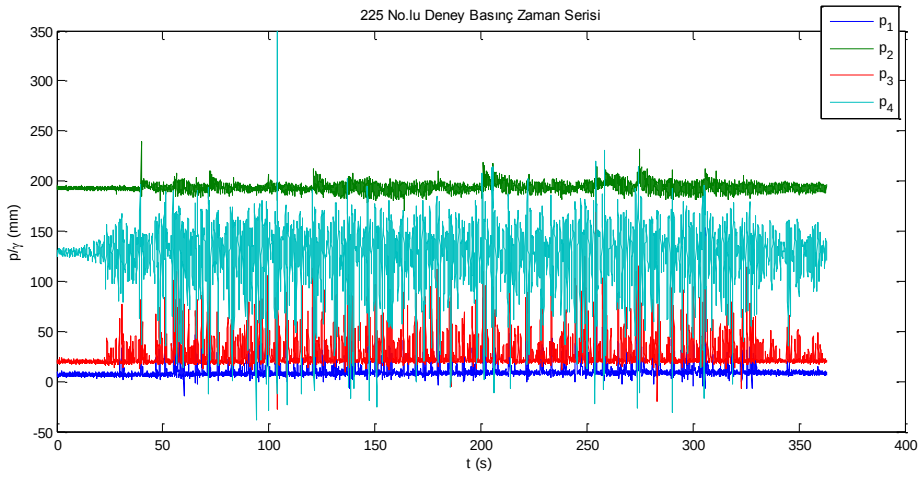
Şekil C.111 : 222 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



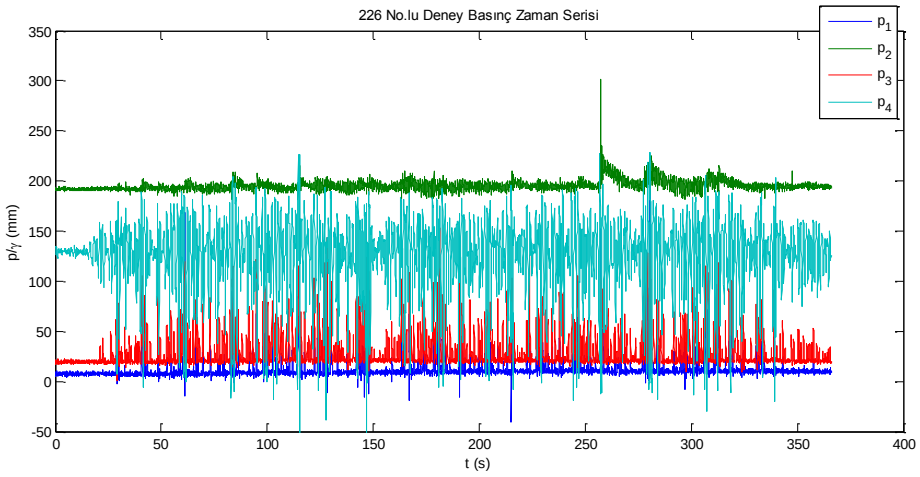
Şekil C.112 : 223 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



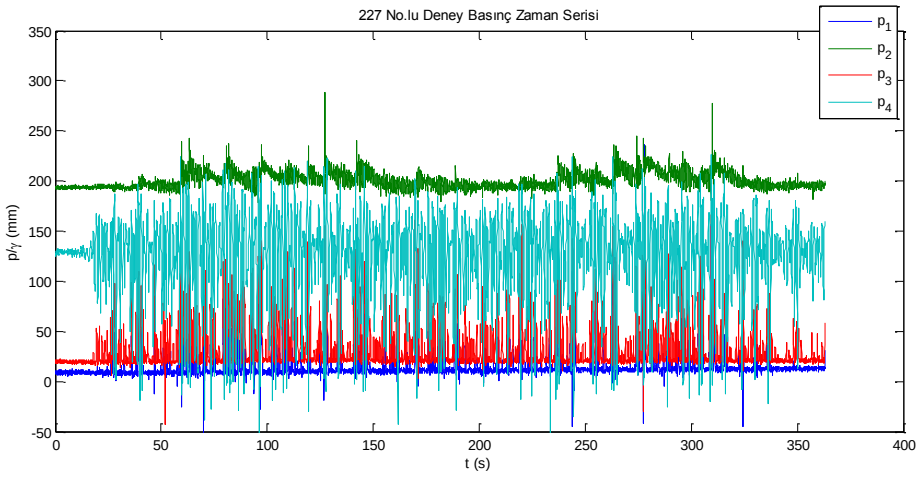
Şekil C.113 : 224 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



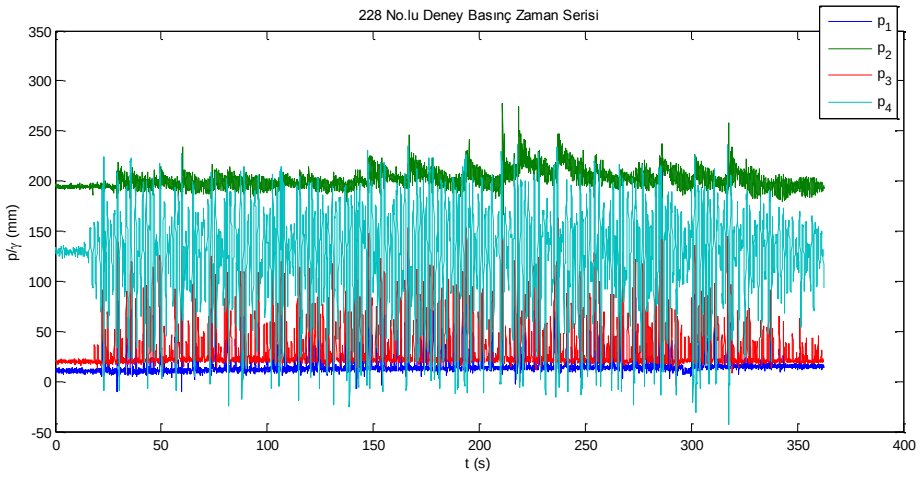
Şekil C.114 : 225 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



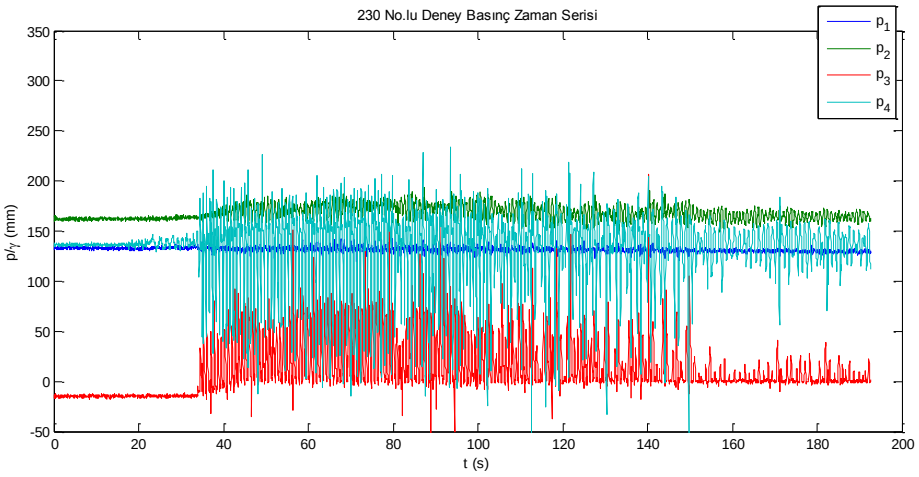
Şekil C.115 : 226 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



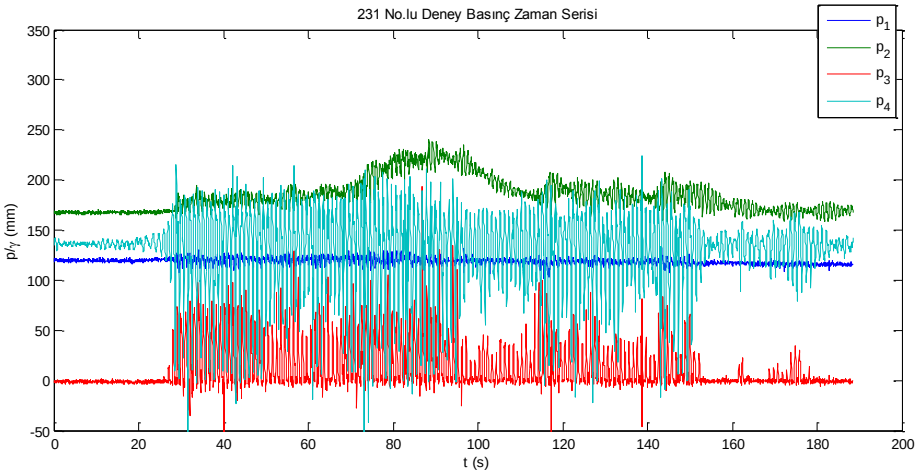
Şekil C.116 : 227 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



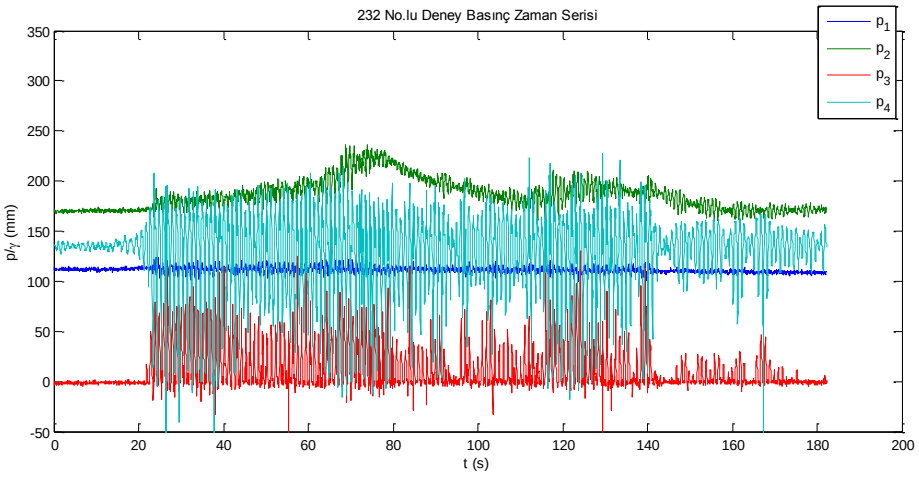
Şekil C.117 : 228 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



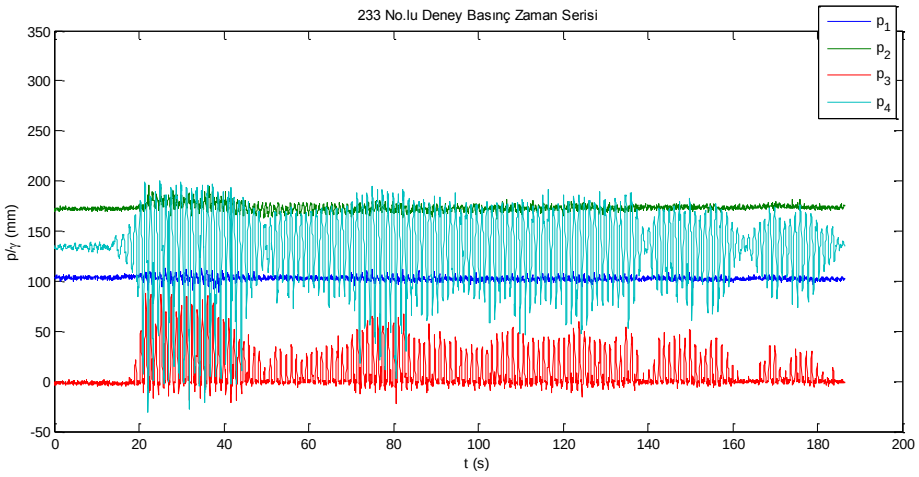
Şekil C.118 : 230 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



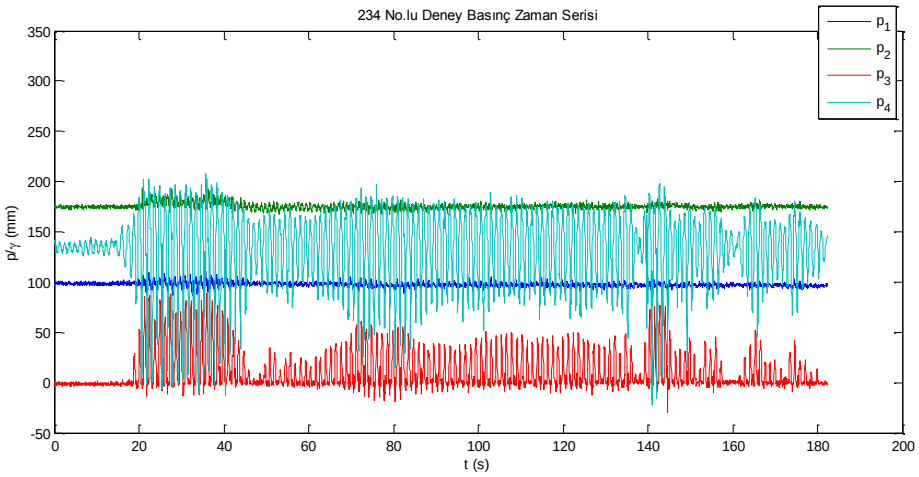
Şekil C.119 : 231 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



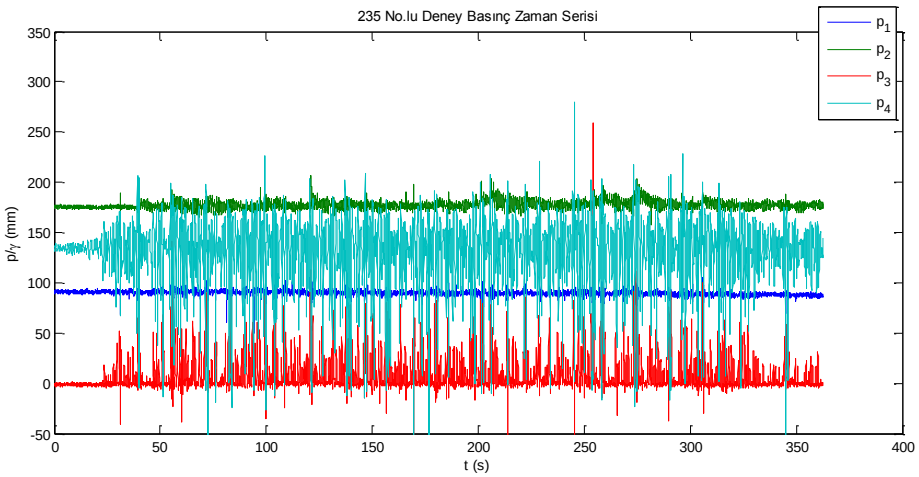
Şekil C.120 : 232 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



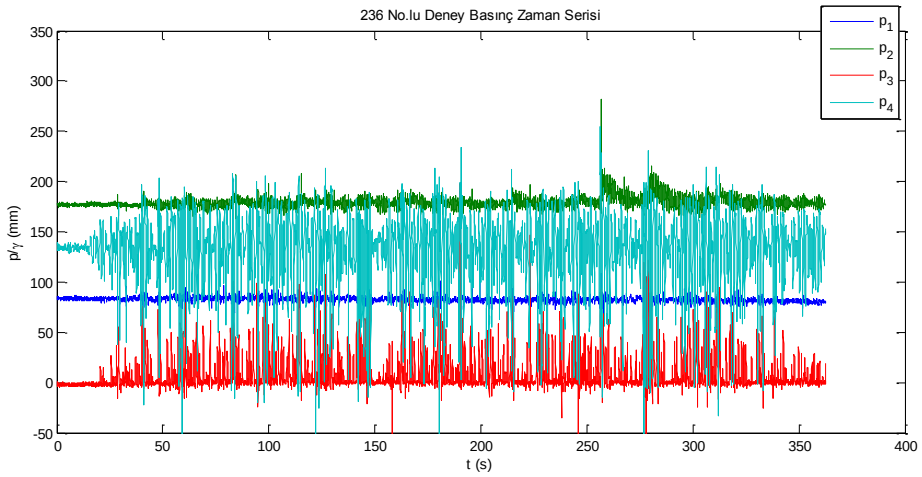
Şekil C.121 : 233 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



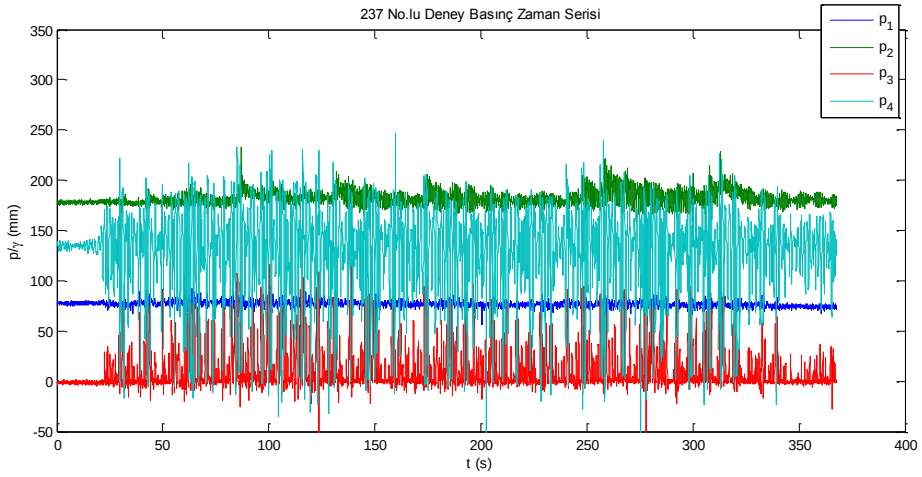
Şekil C.122 : 234 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



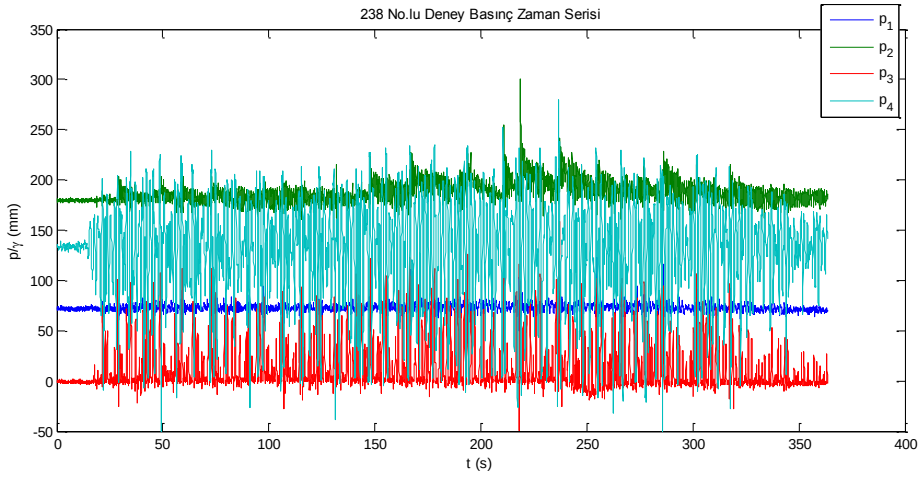
Şekil C.123 : 235 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



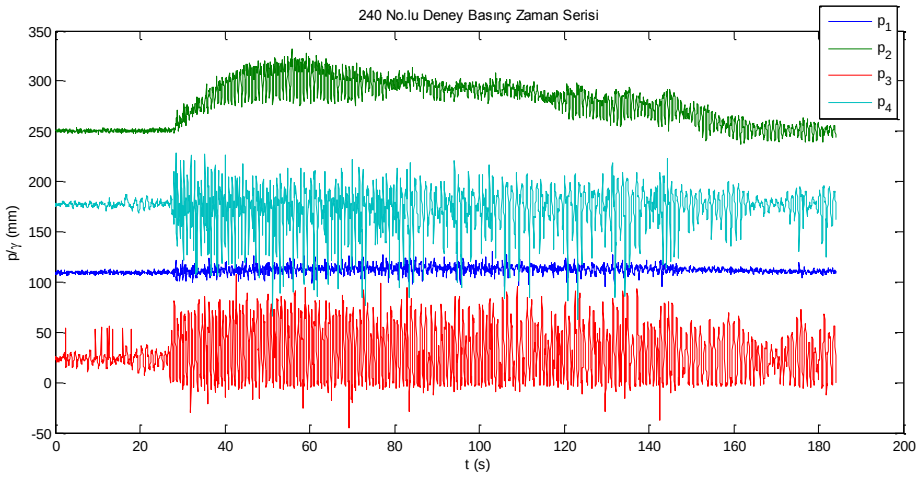
Şekil C.124 : 236 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



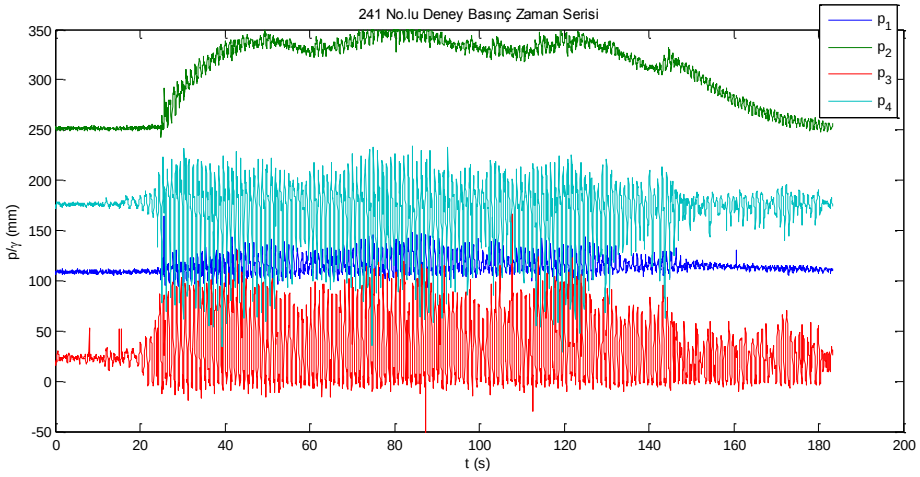
Şekil C.125 : 237 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



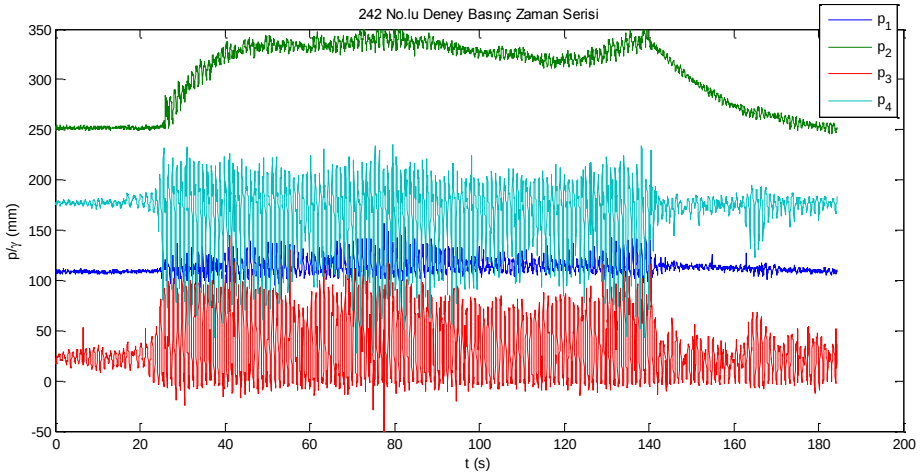
Şekil C.126 : 238 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



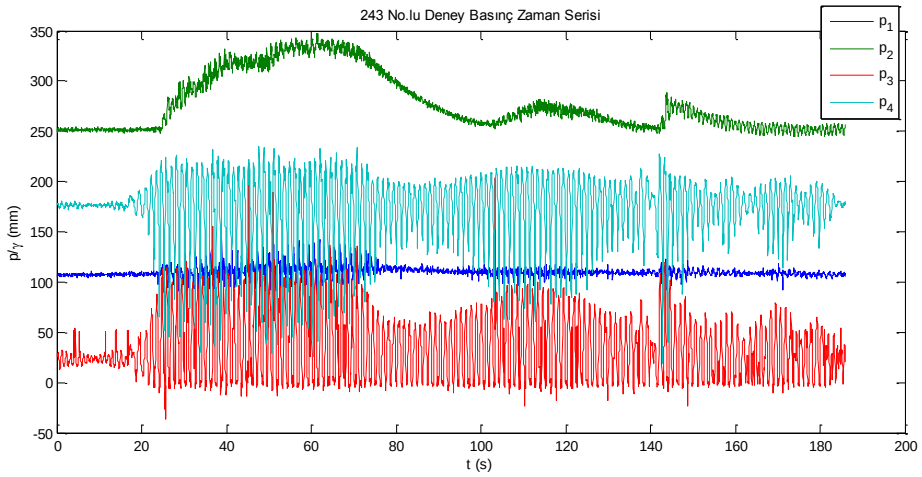
Şekil C.127 : 240 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



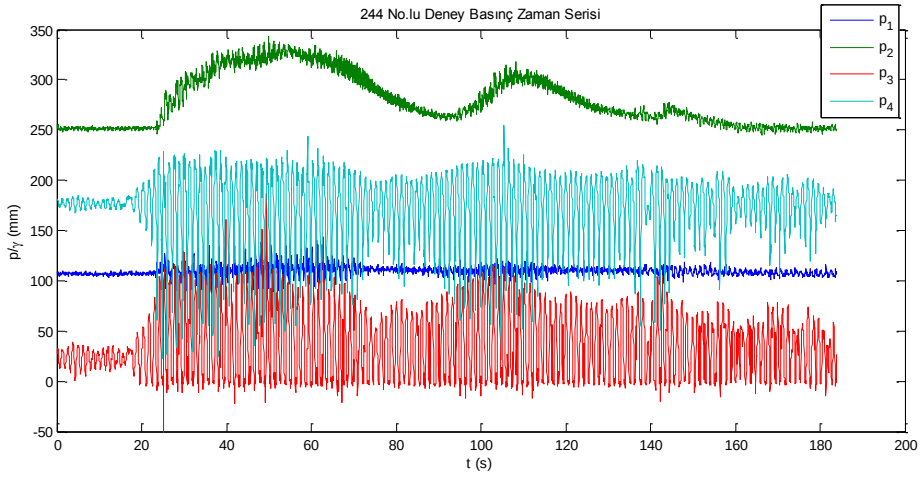
Şekil C.128 : 241 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



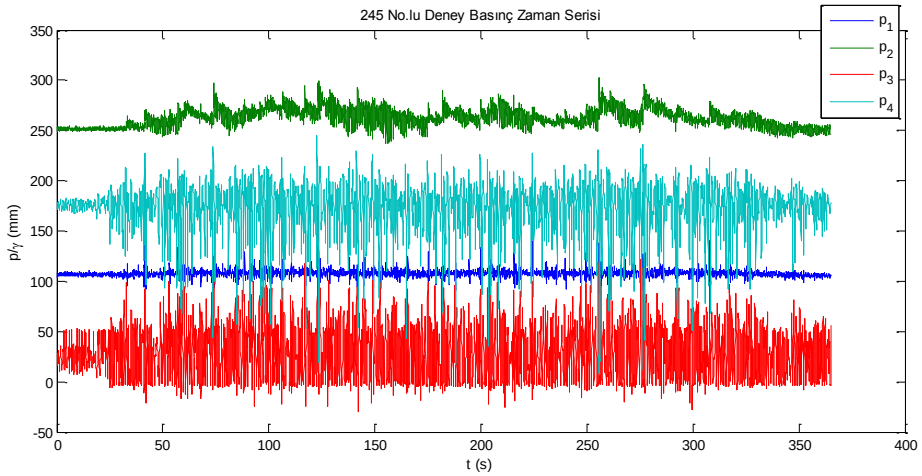
Şekil C.129 : 242 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



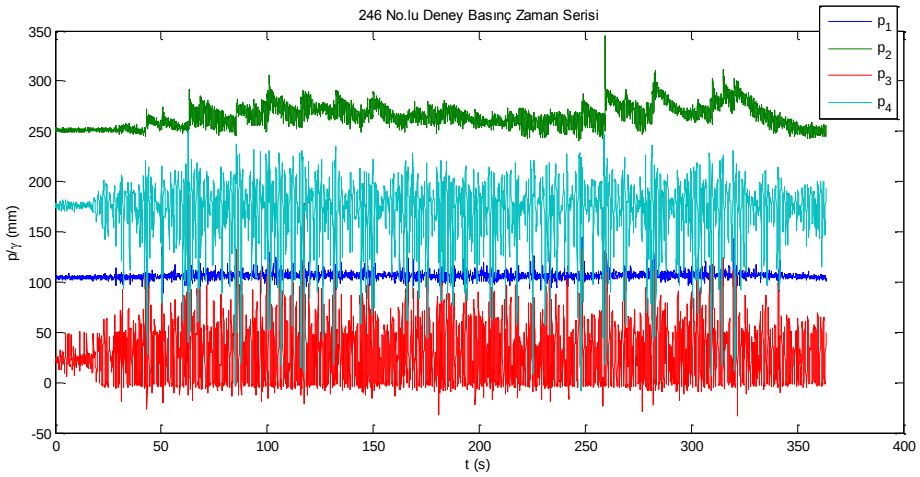
Şekil C.130 : 243 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



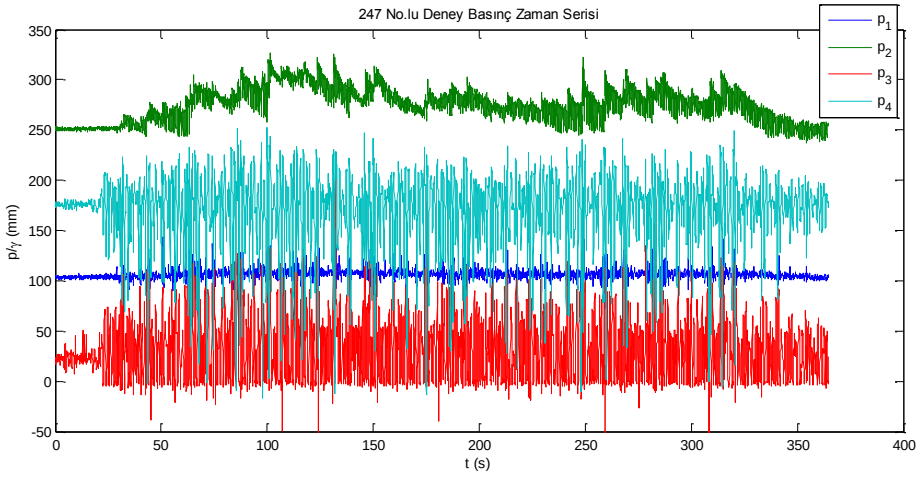
Şekil C.131 : 244 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



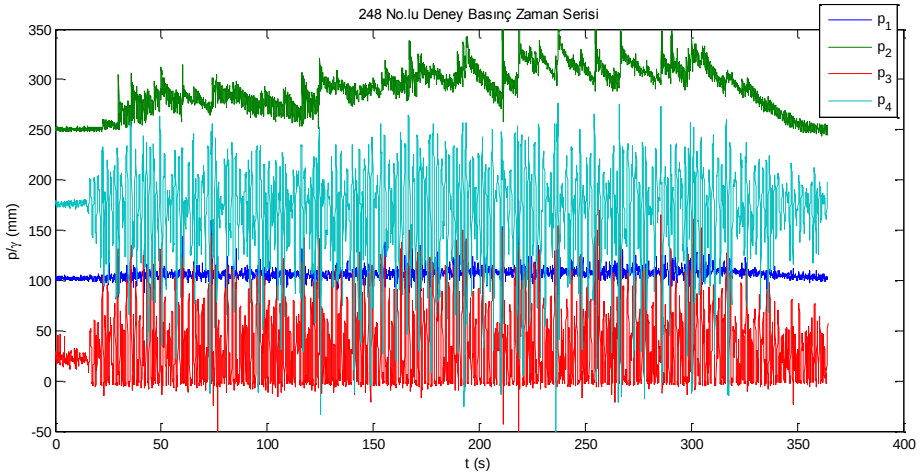
Şekil C.132 : 245 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



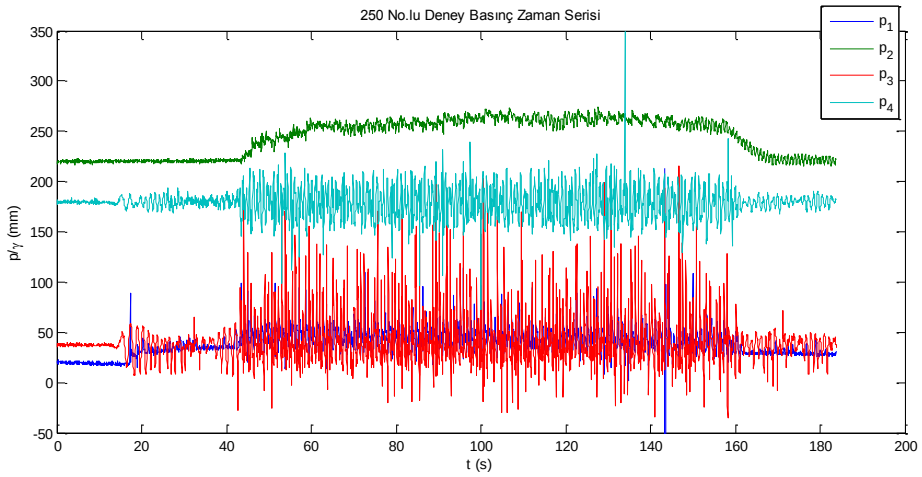
Şekil C.133 : 246 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



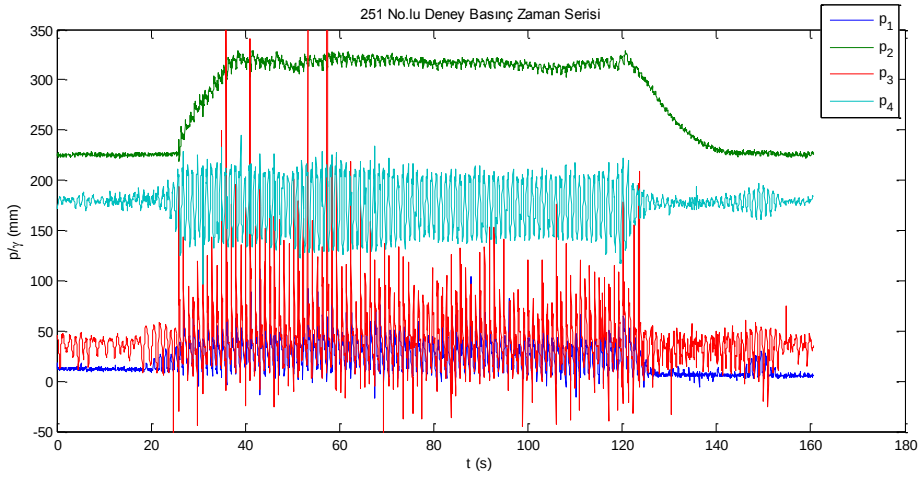
Şekil C.134 : 247 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



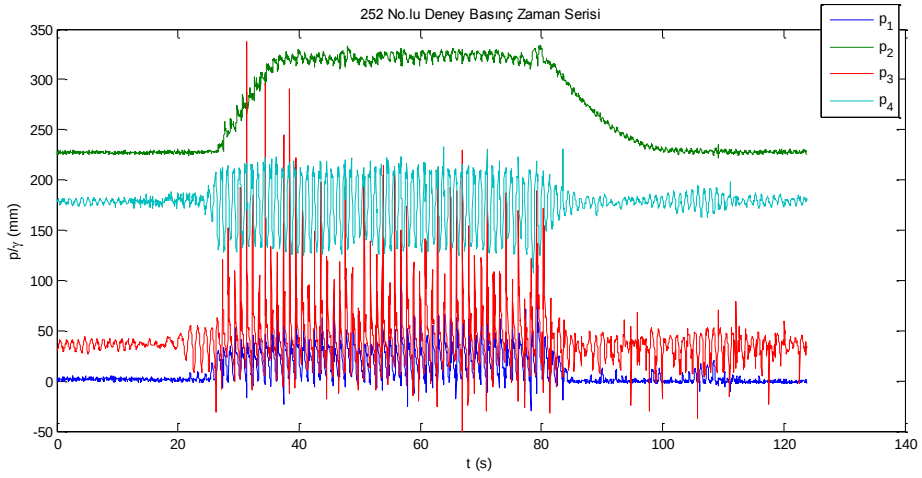
Şekil C.135 : 248 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



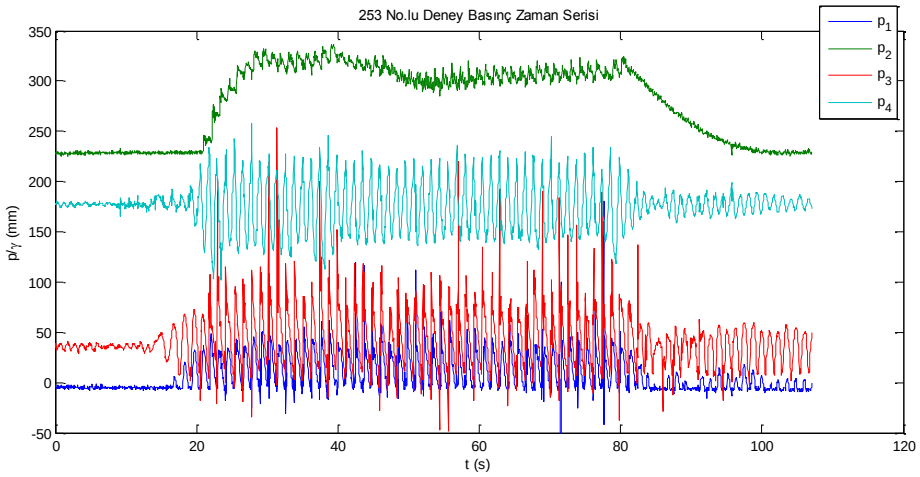
Şekil C.136 : 250 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



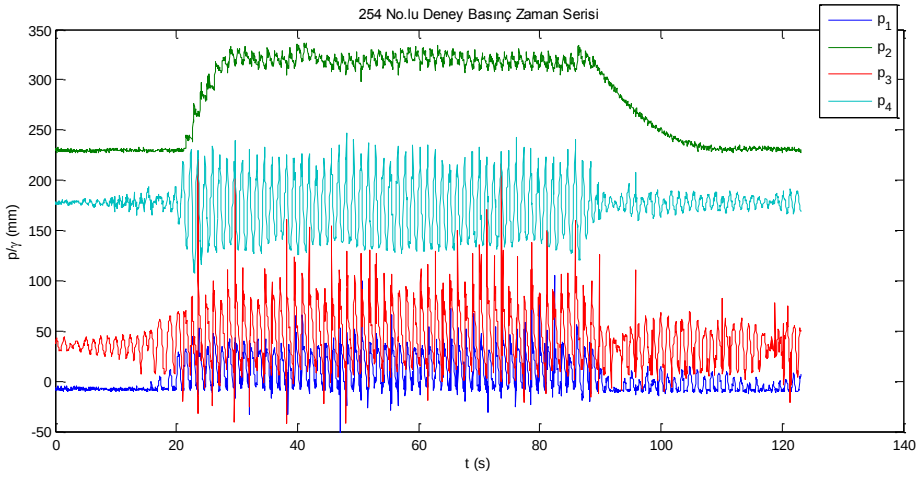
Şekil C.137 : 251 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



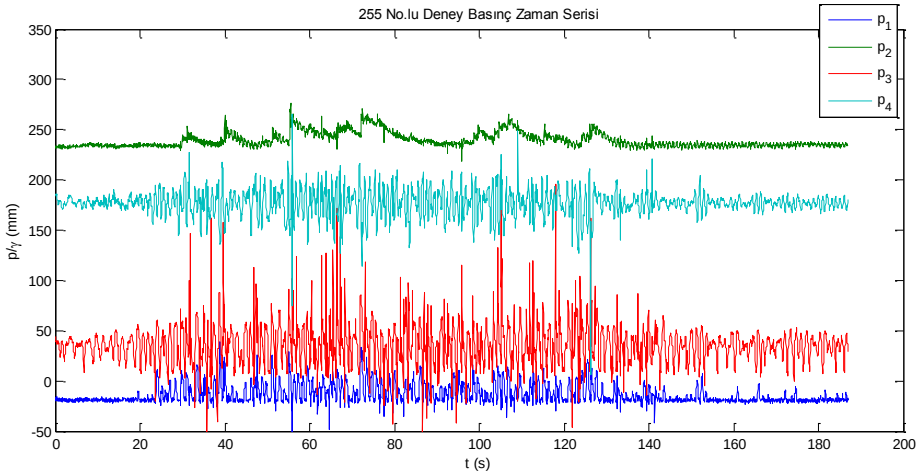
Şekil C.138 : 252 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



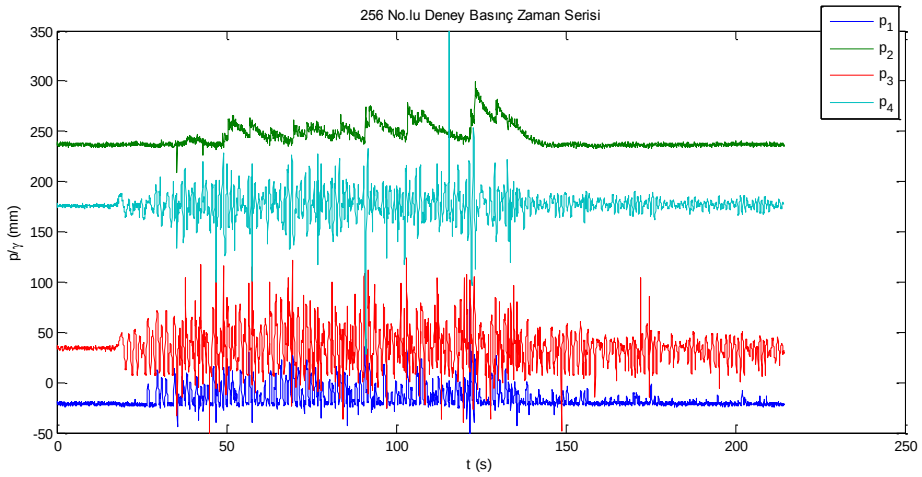
Şekil C.139 : 253 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



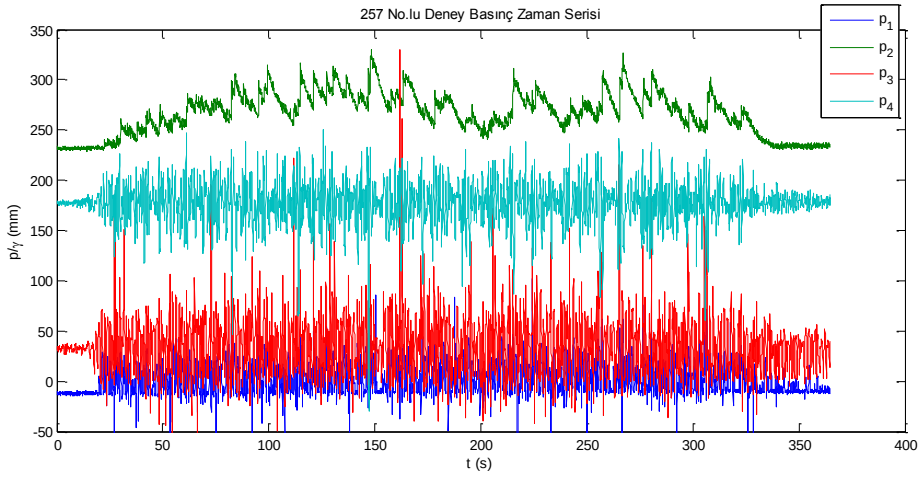
Şekil C.140 : 254 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



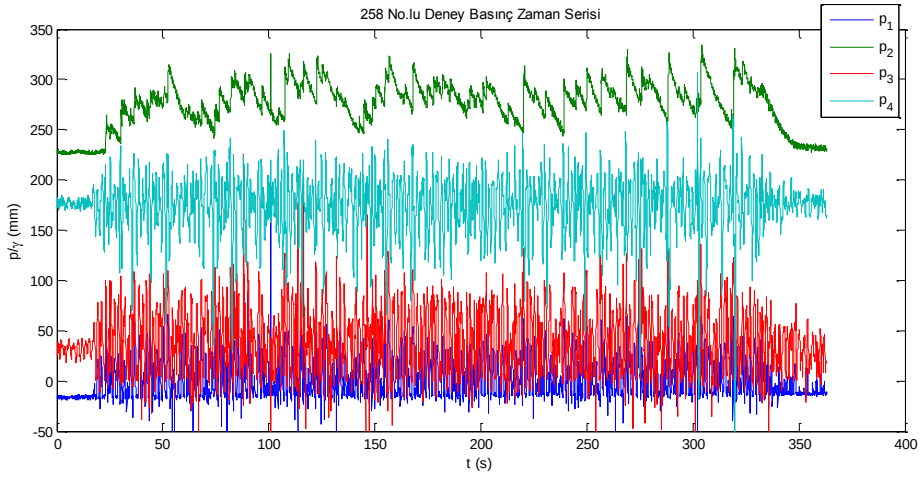
Şekil C.141 : 255 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



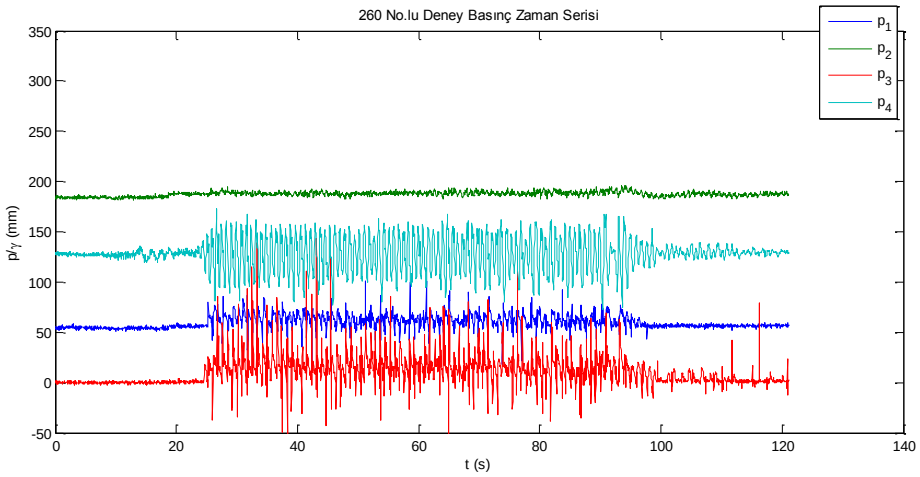
Şekil C.142 : 256 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



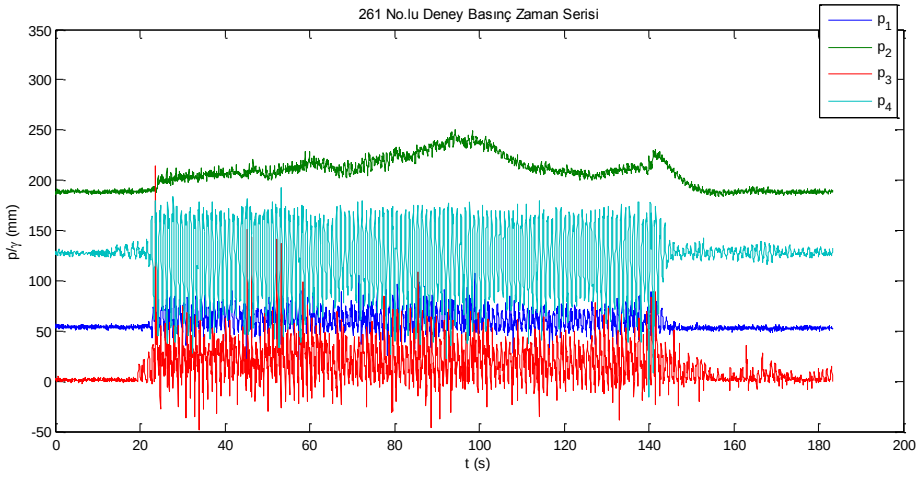
Şekil C.143 : 257 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



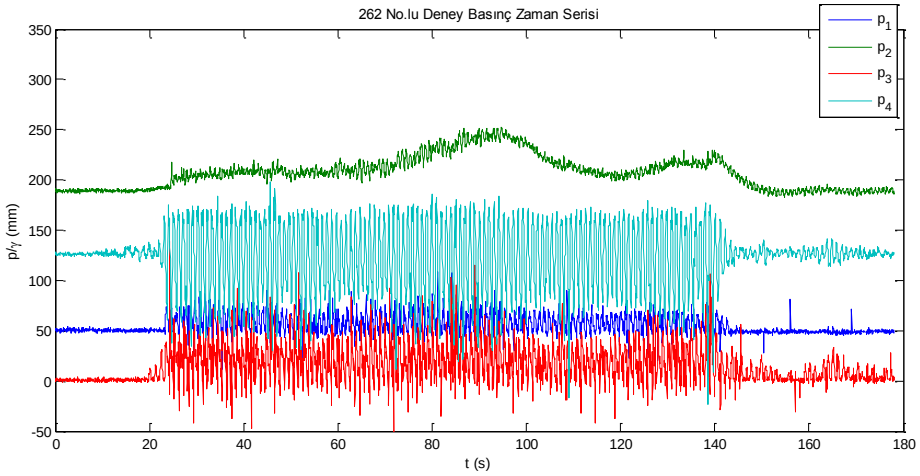
Şekil C.144 : 258 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



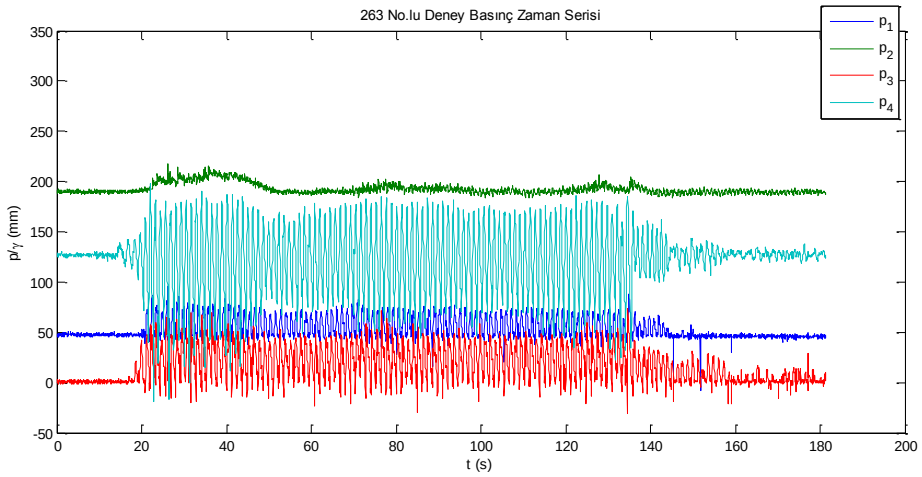
Şekil C.145 : 260 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



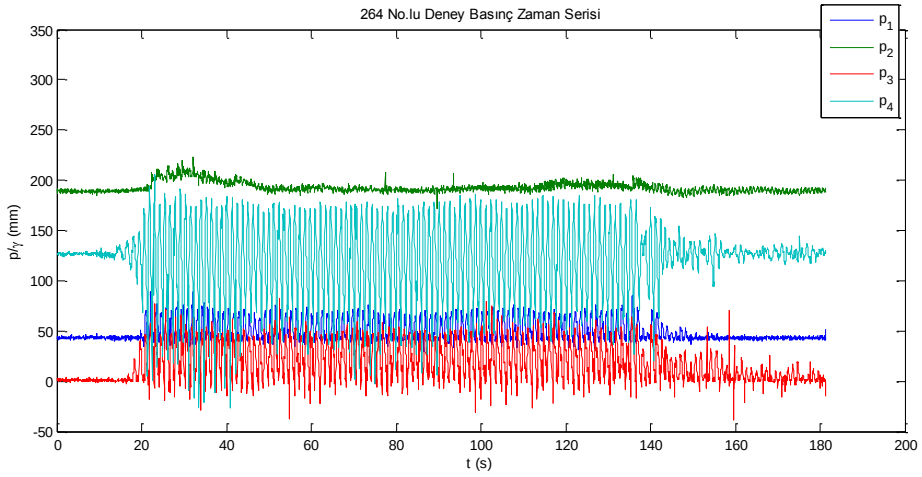
Şekil C.146 : 261 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



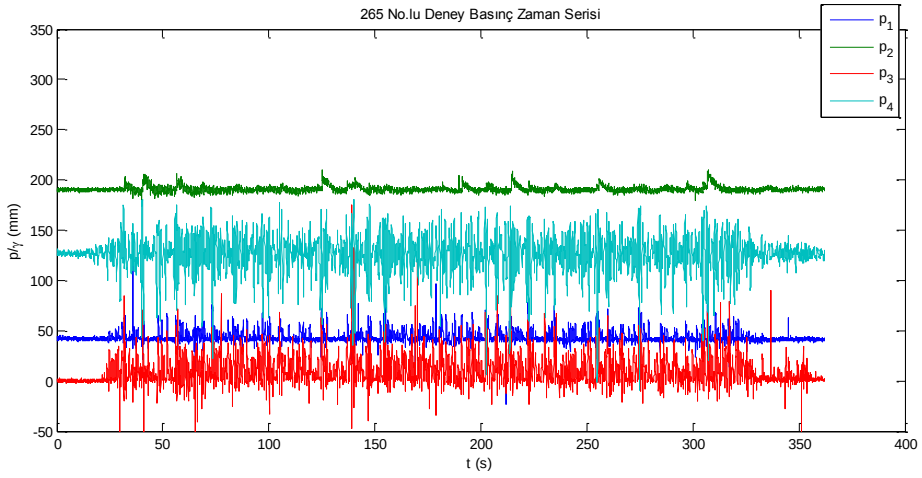
Şekil C.147 : 262 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



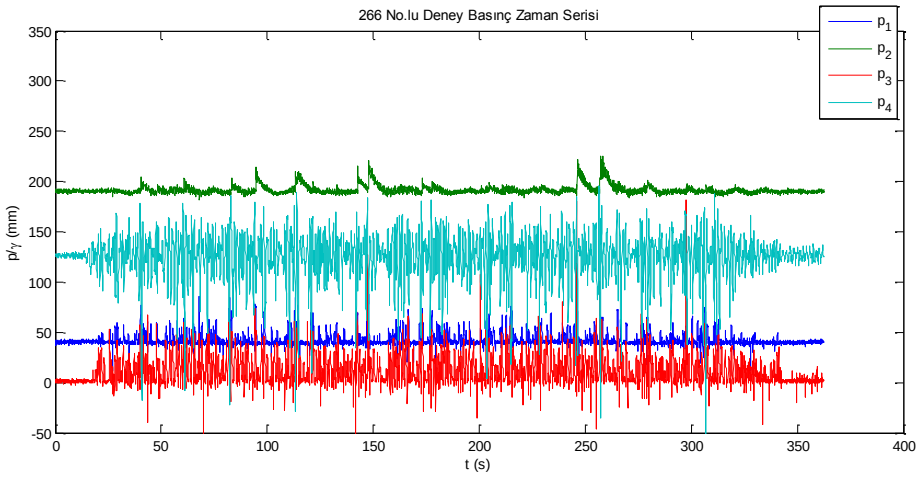
Şekil C.148 : 263 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



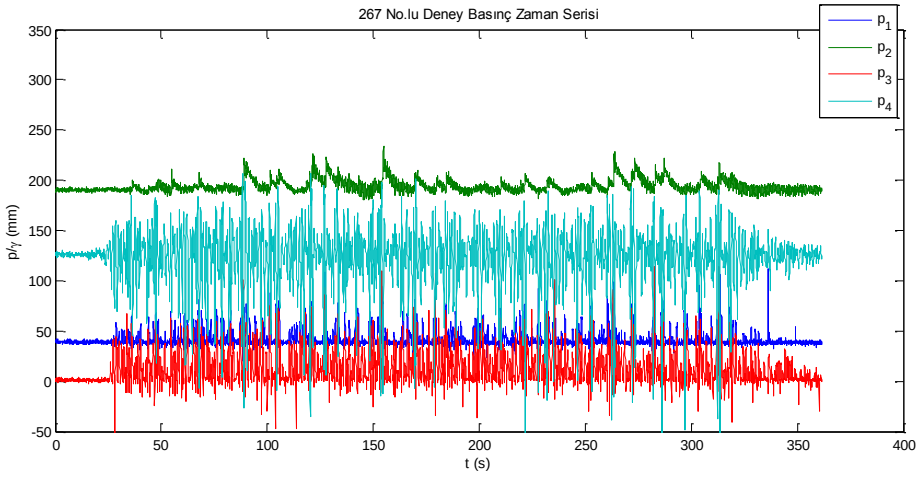
Şekil C.149 : 264 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



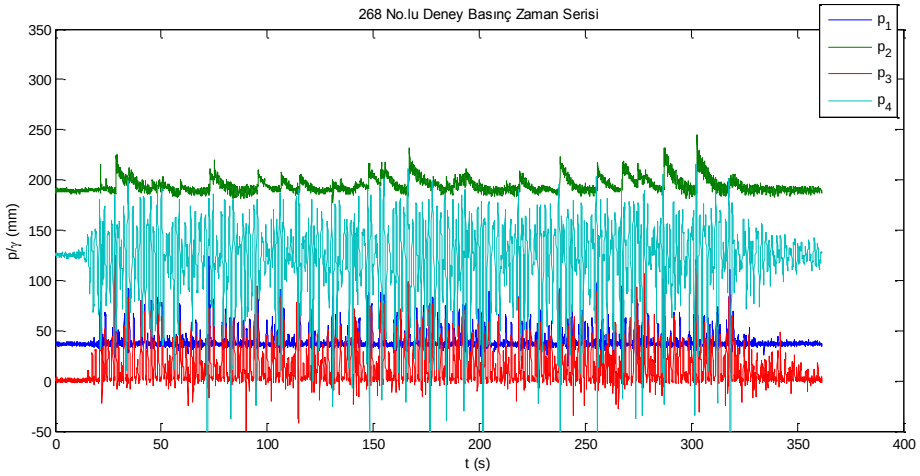
Şekil C.150 : 265 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



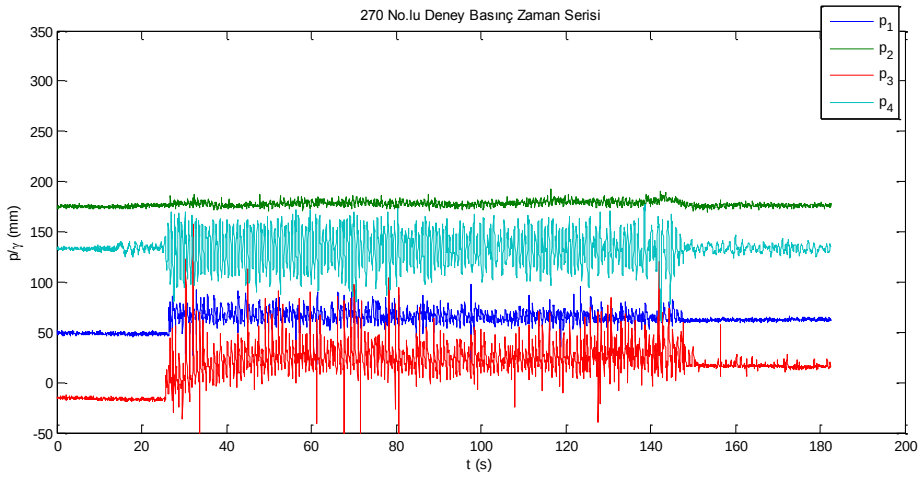
Şekil C.151 : 266 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



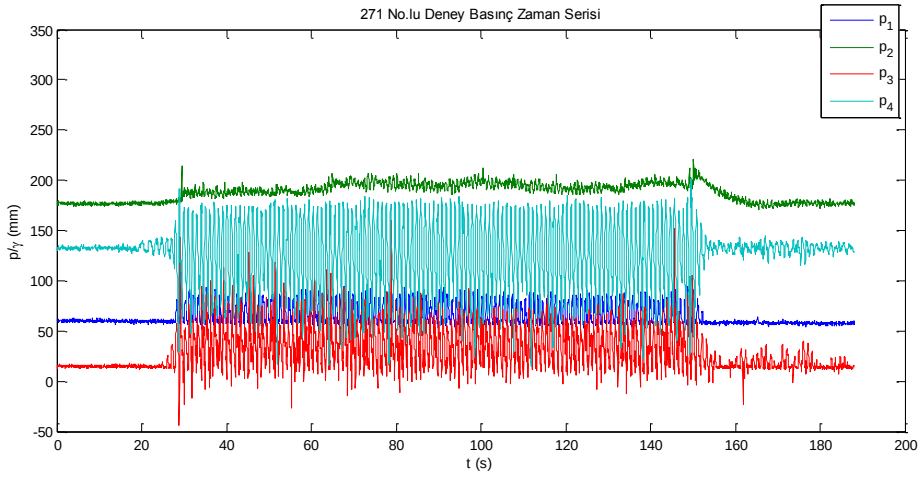
Şekil C.152 : 267 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



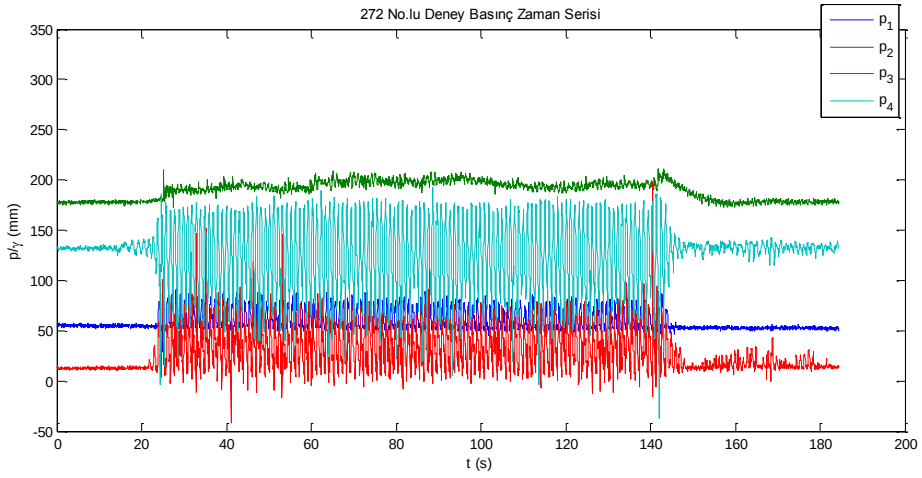
Şekil C.153 : 268 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



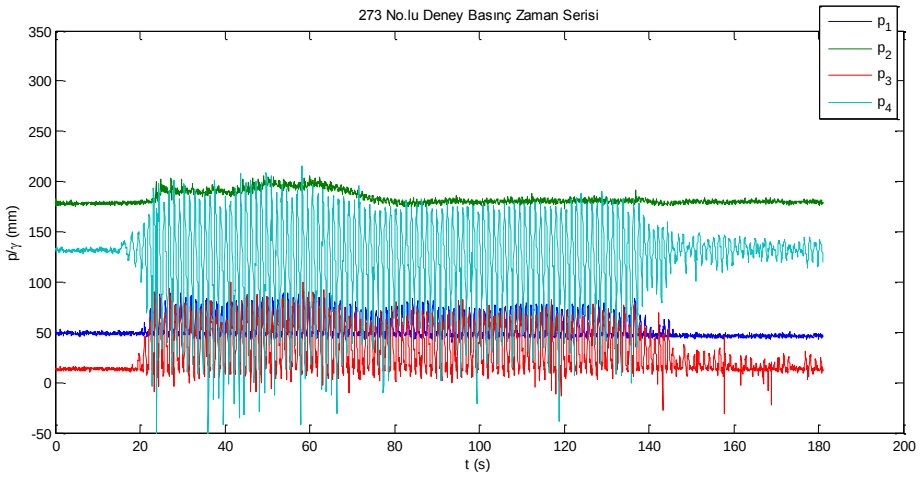
Şekil C.154 : 270 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



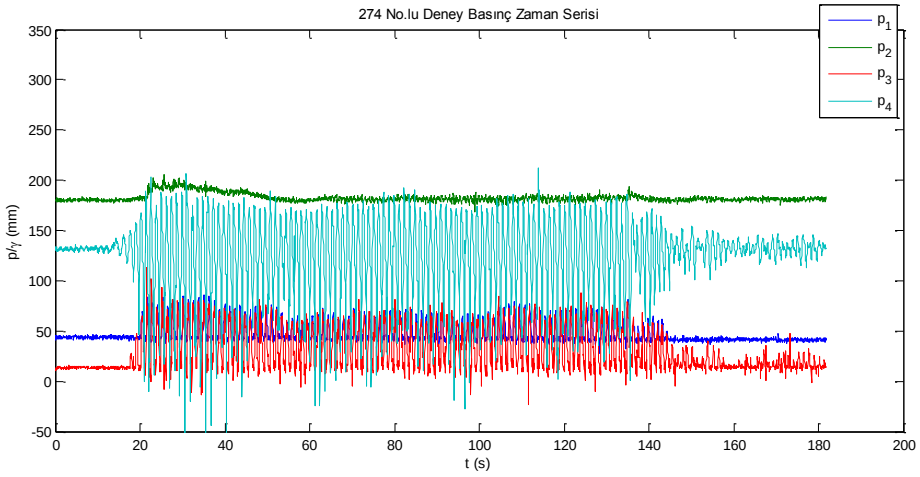
Şekil C.155 : 271 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



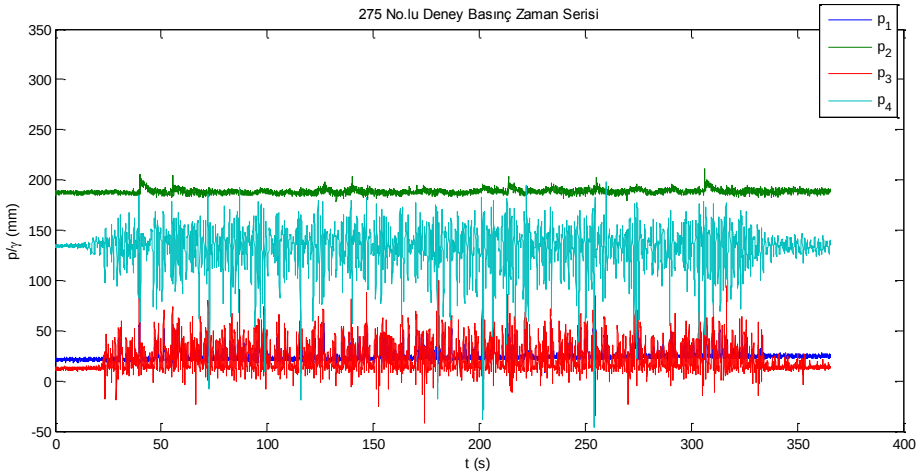
Şekil C.156 : 272 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



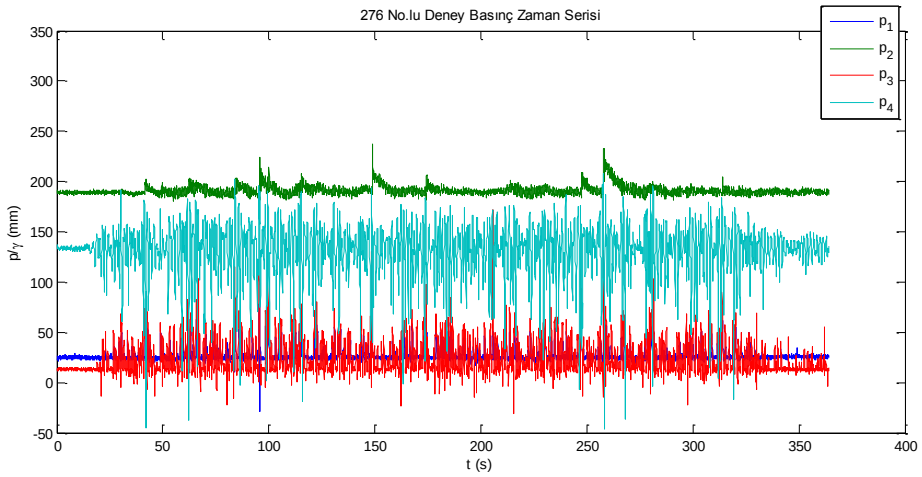
Şekil C.157 : 273 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



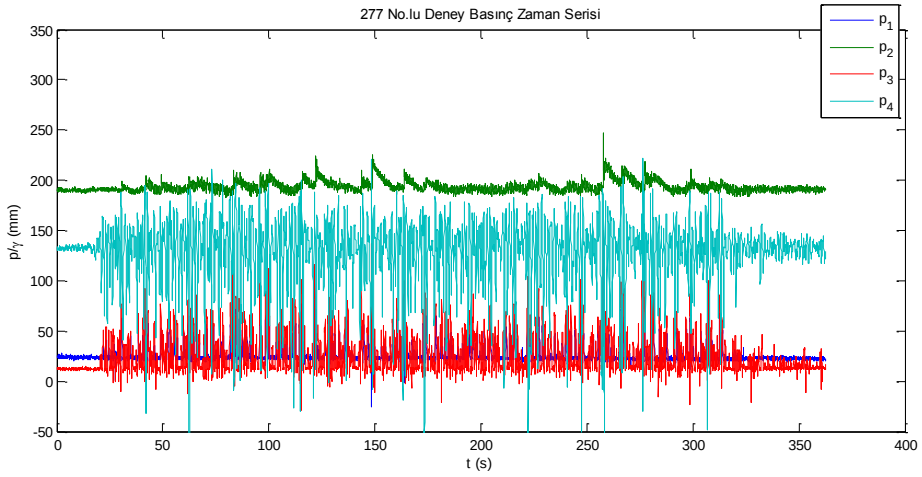
Şekil C.158 : 274 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



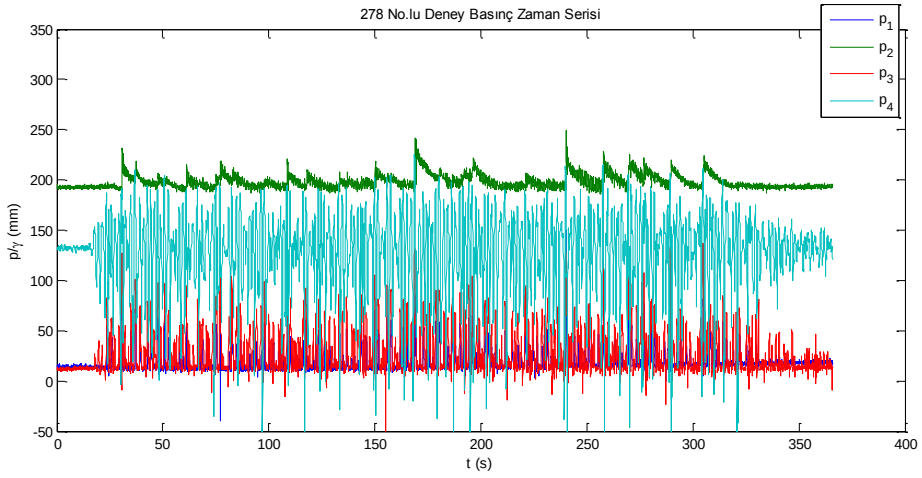
Şekil C.159 : 275 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



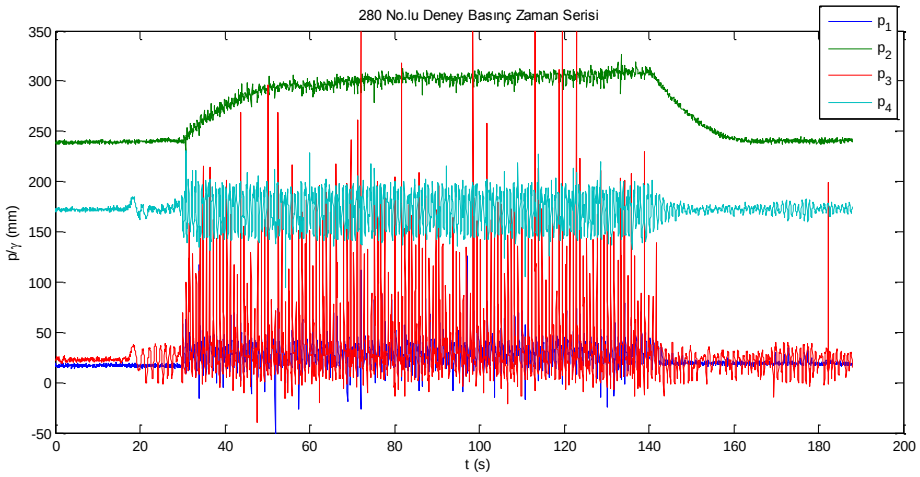
Şekil C.160 : 276 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



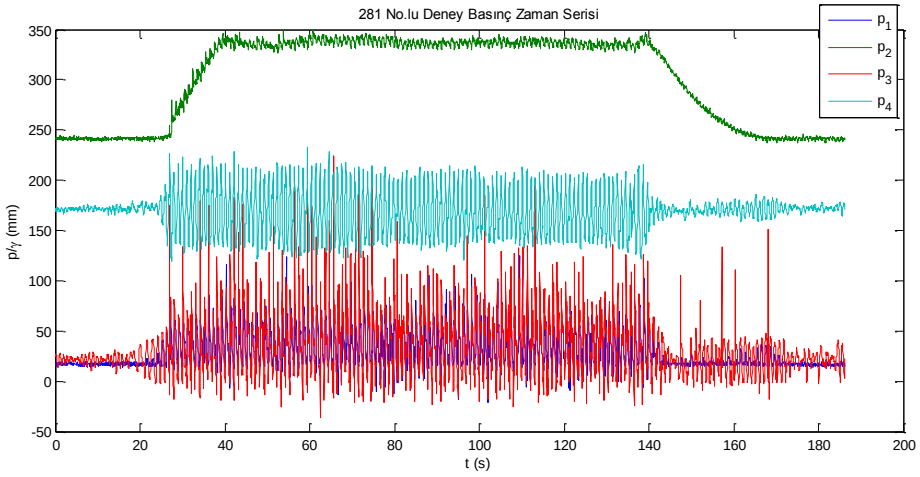
Şekil C.161 : 277 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



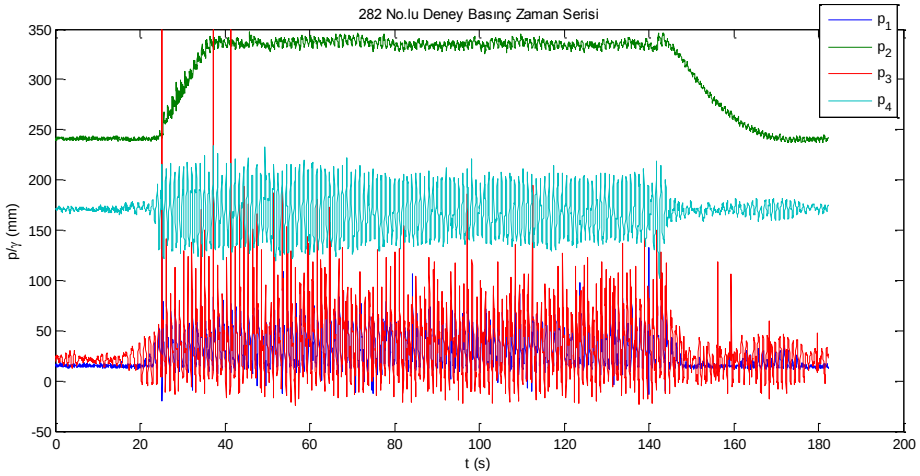
Şekil C.162 : 278 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



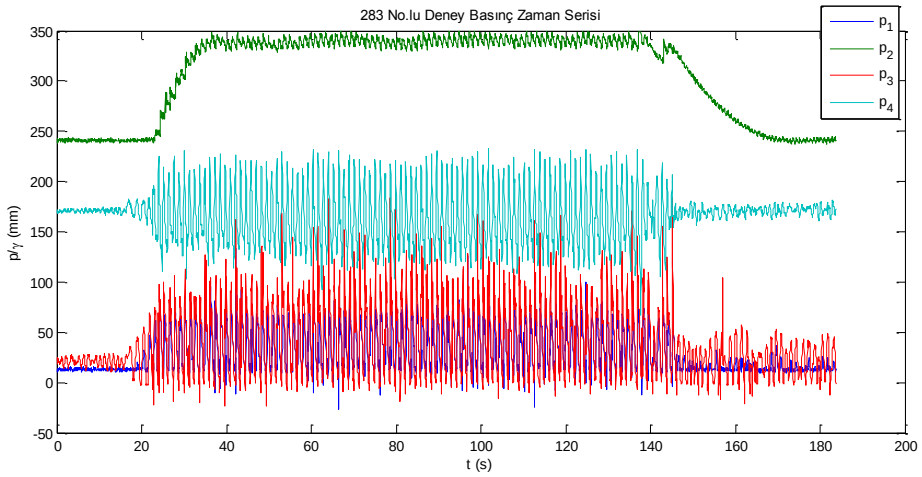
Şekil C.163 : 280 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



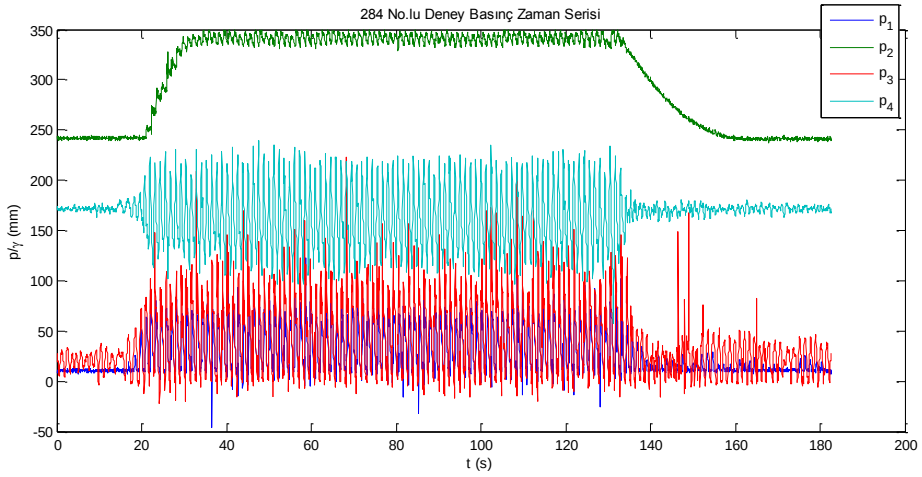
Şekil C.164 : 281 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



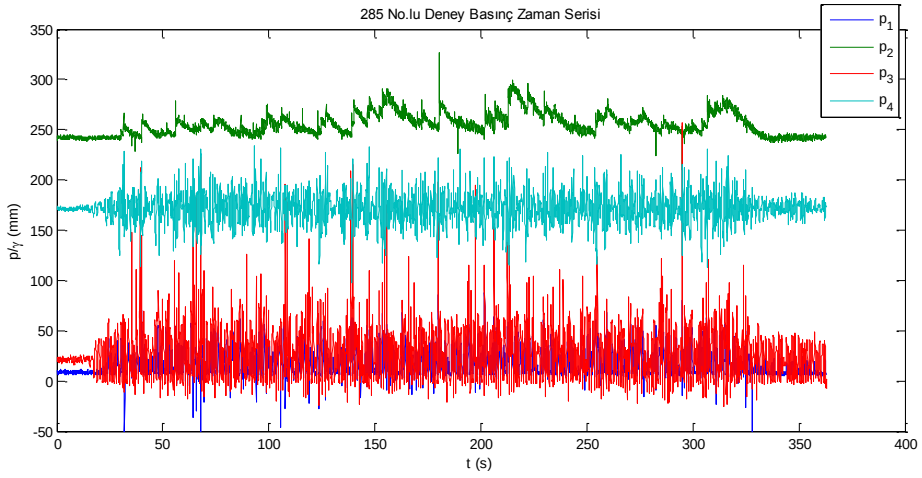
Şekil C.165 : 282 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



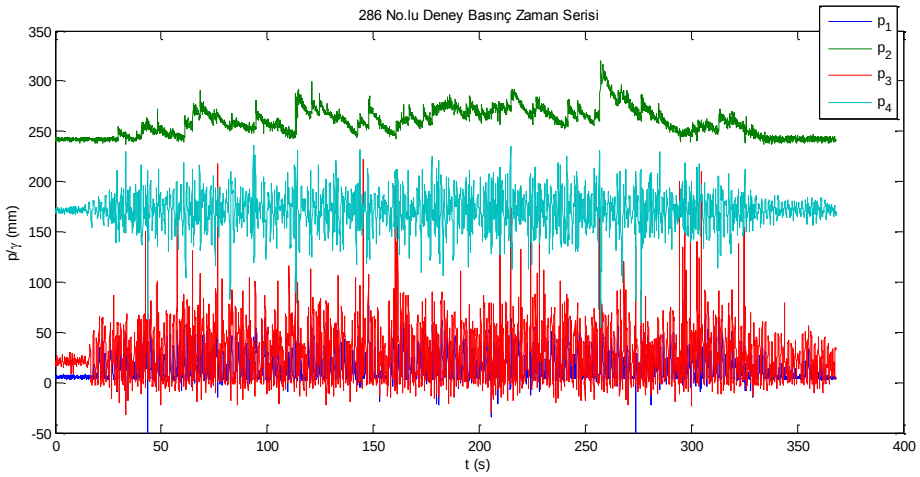
Şekil C.166 : 283 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



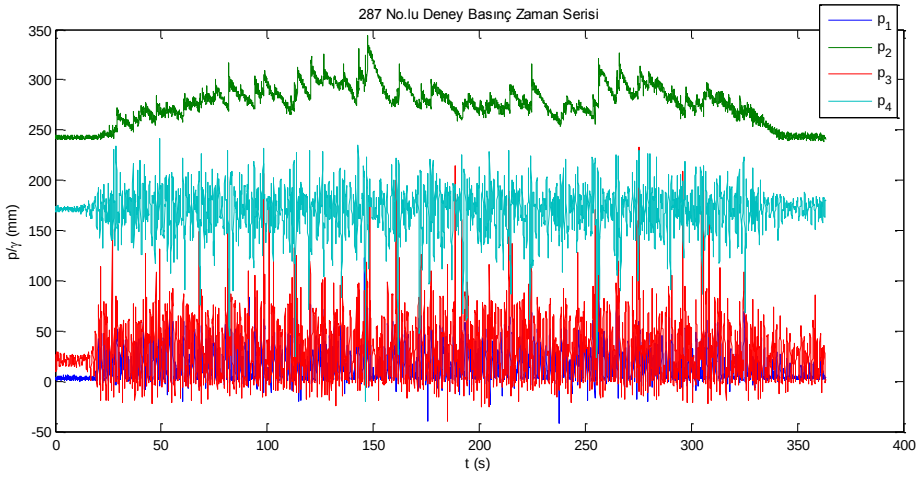
Şekil C.167 : 284 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



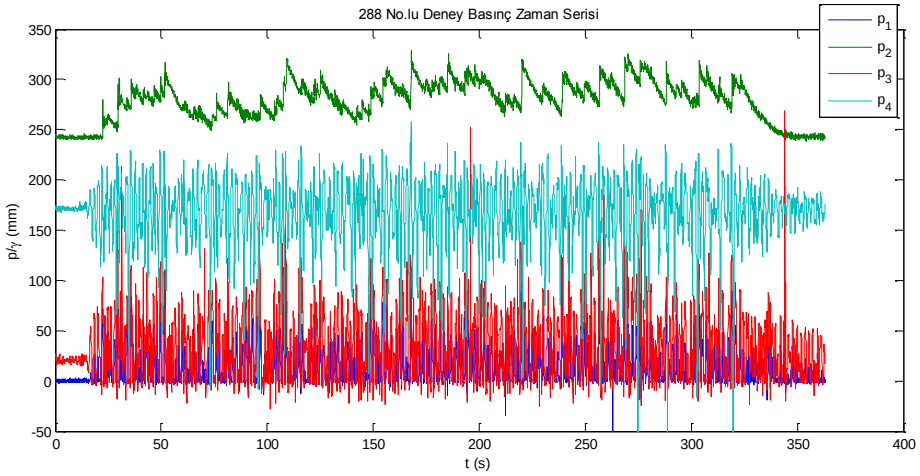
Şekil C.168 : 285 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



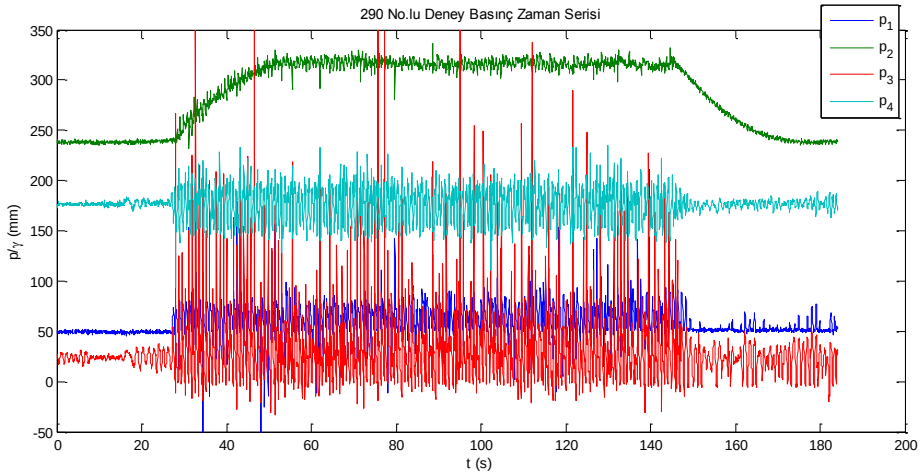
Şekil C.169 : 286 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



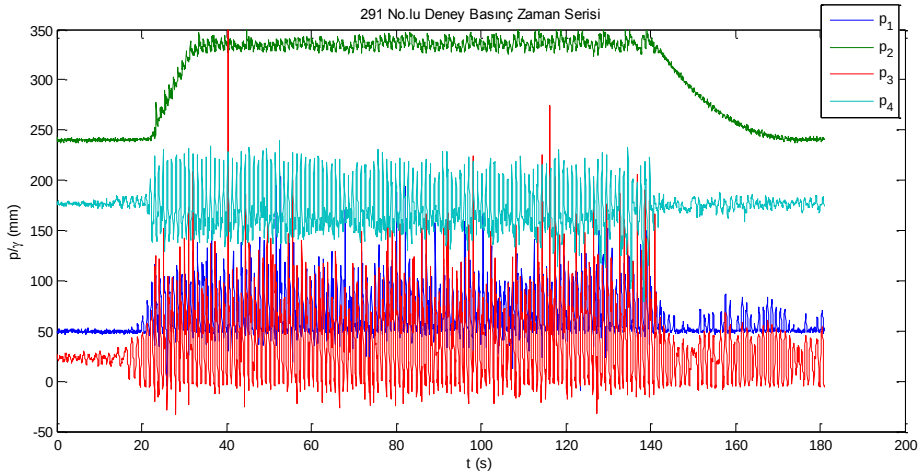
Şekil C.170 : 287 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



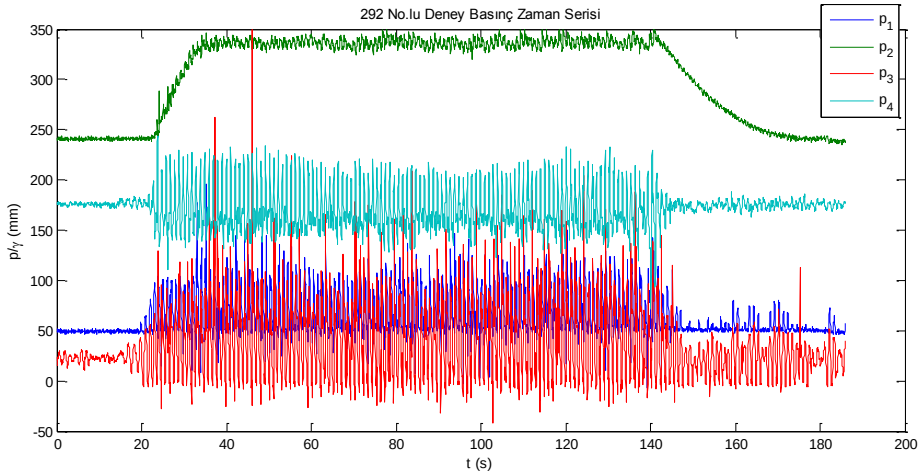
Şekil C.171 : 288 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



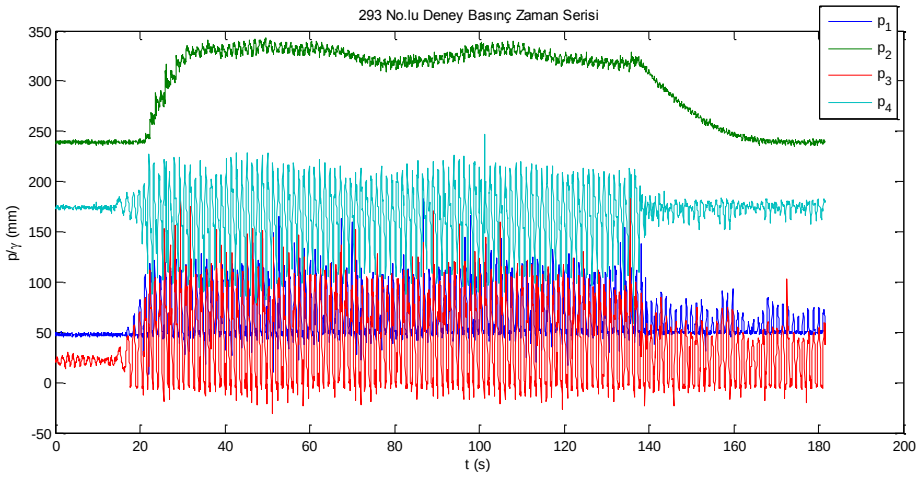
Şekil C.172 : 290 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



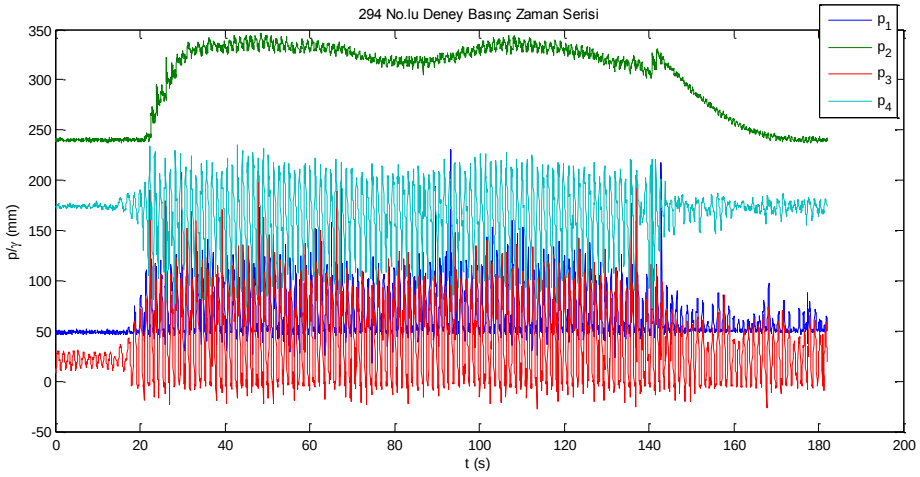
Şekil C.173 : 291 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



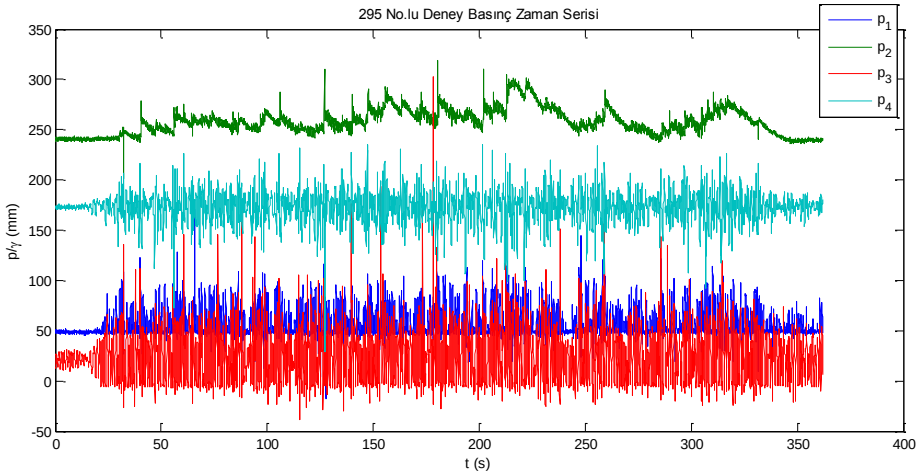
Şekil C.174 : 292 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



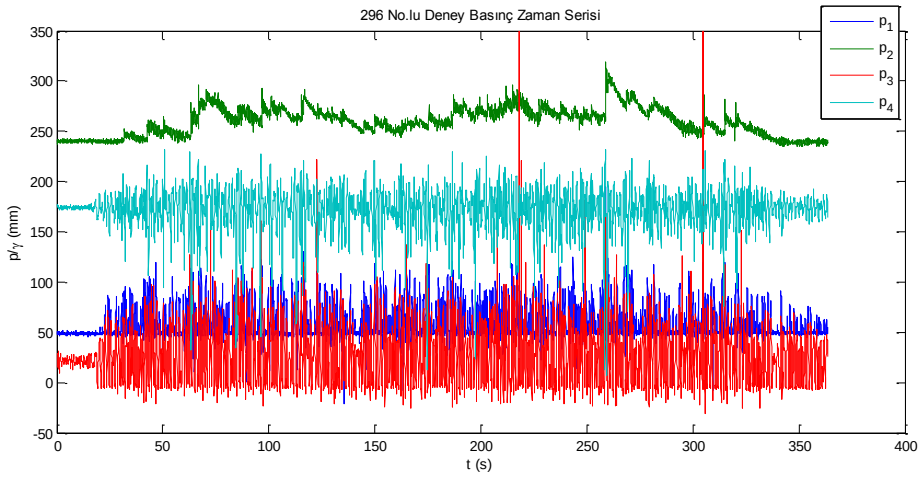
Şekil C.175 : 293 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



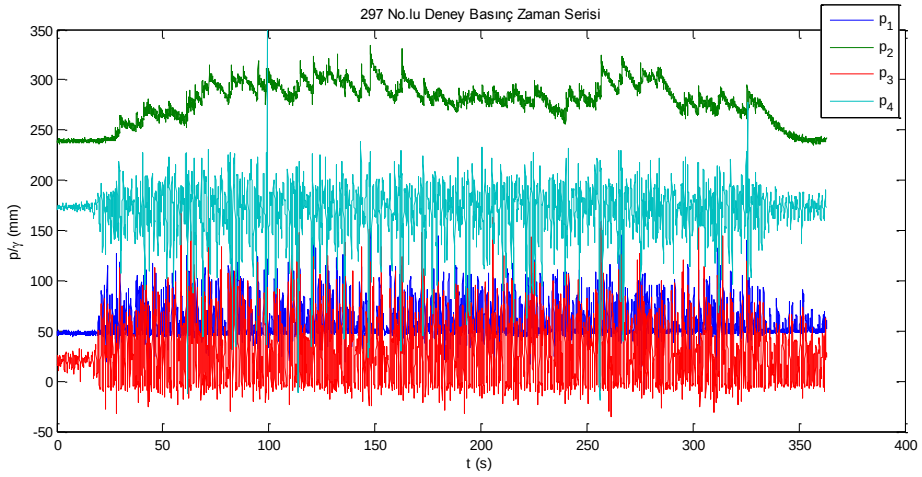
Şekil C.176 : 294 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



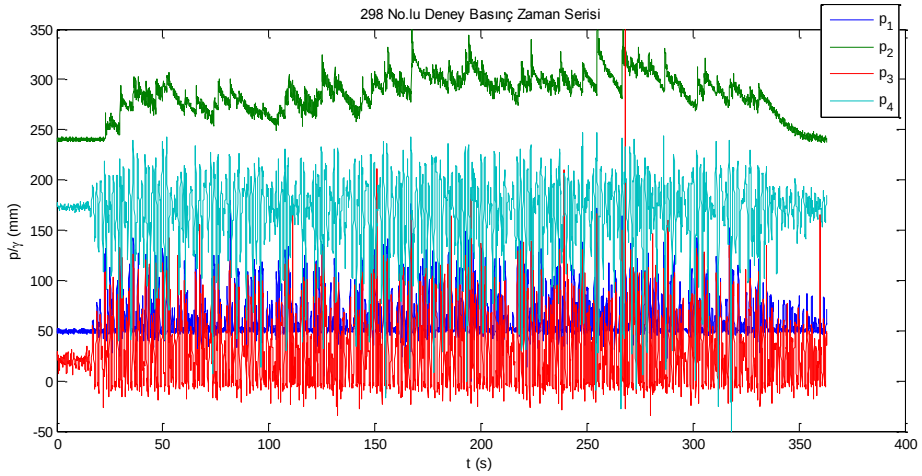
Şekil C.177 : 295 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



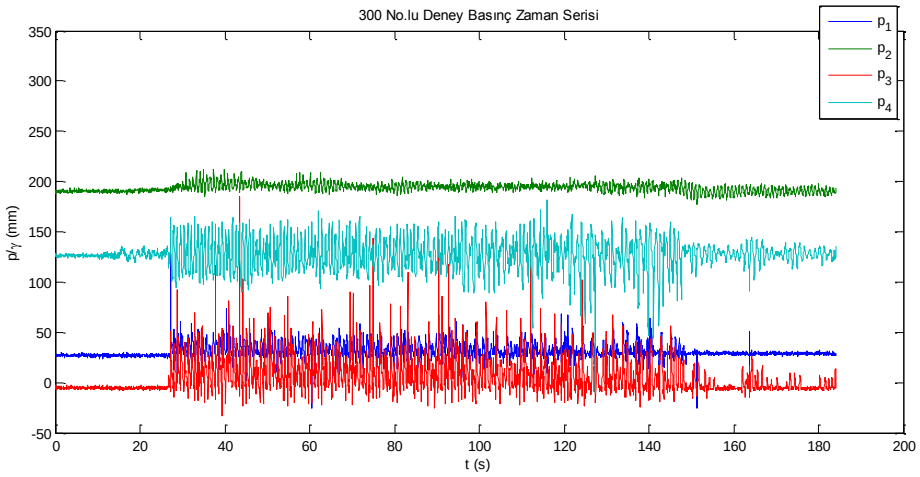
Şekil C.178 : 296 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



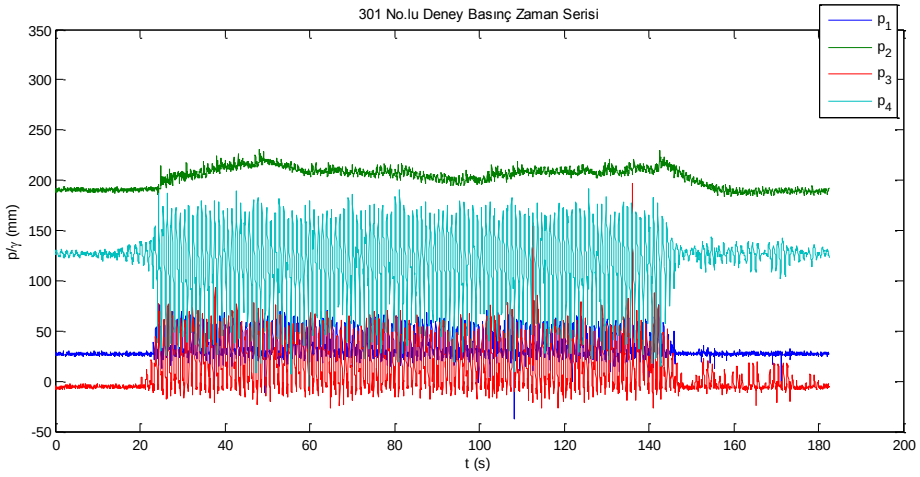
Şekil C.179 : 297 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



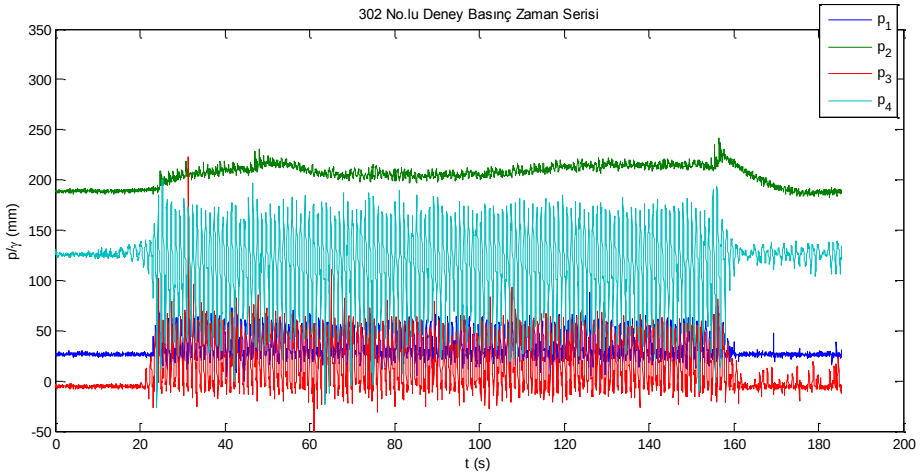
Şekil C.180 : 298 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



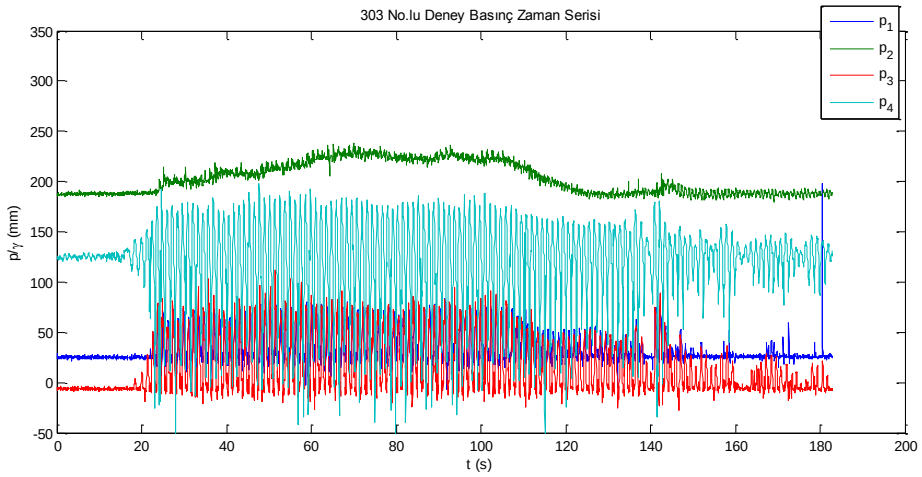
Şekil C.181 : 300 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



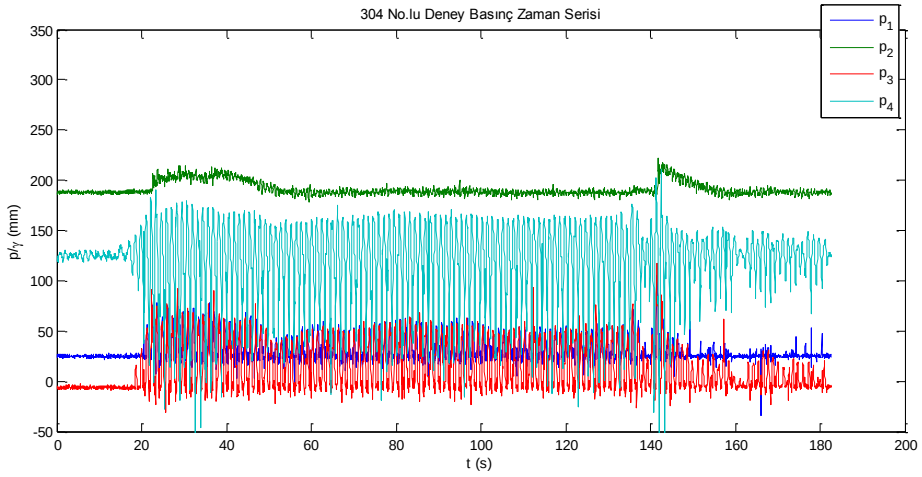
Şekil C.182 : 301 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



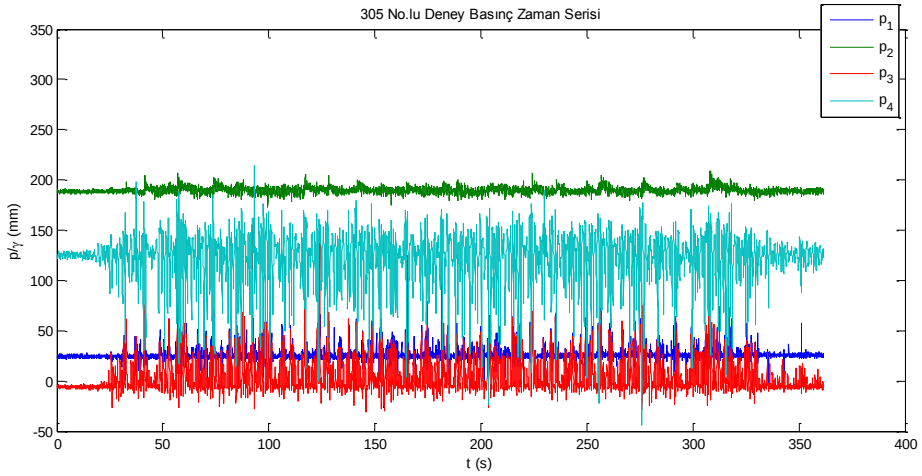
Şekil C.183 : 302 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



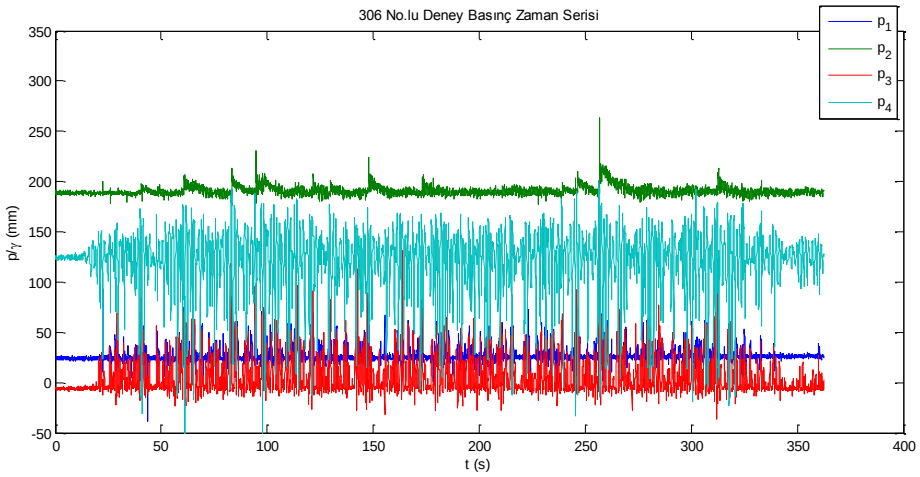
Şekil C.184 : 303 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



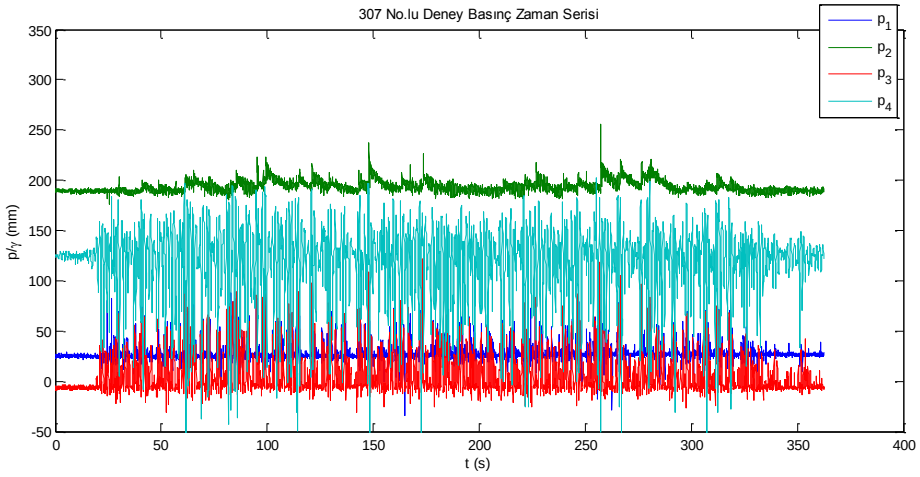
Şekil C.185 : 304 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



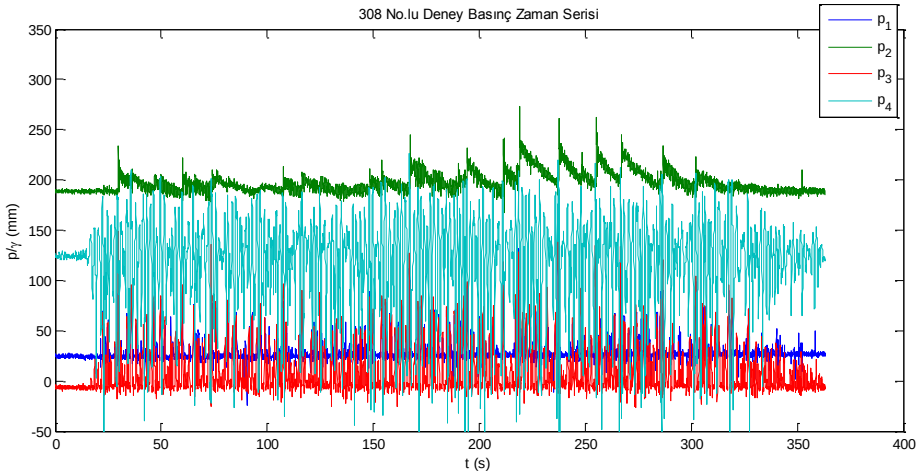
Şekil C.186 : 305 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



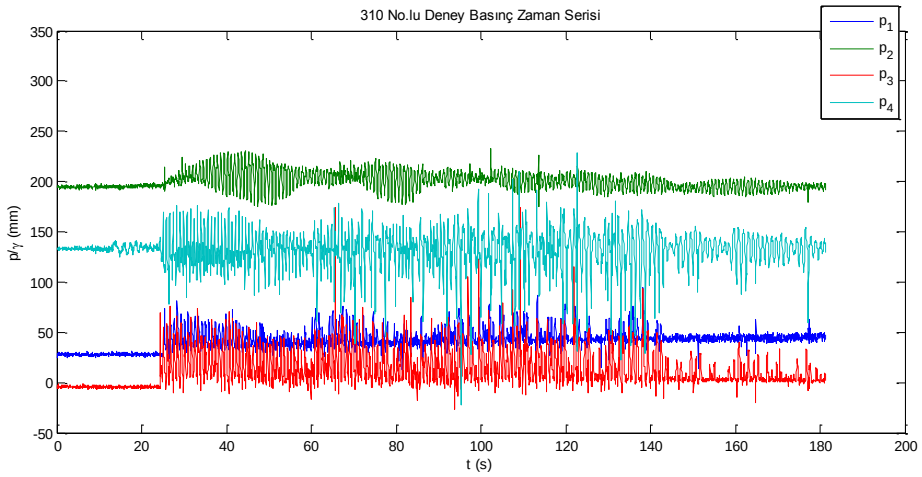
Şekil C.187 : 306 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



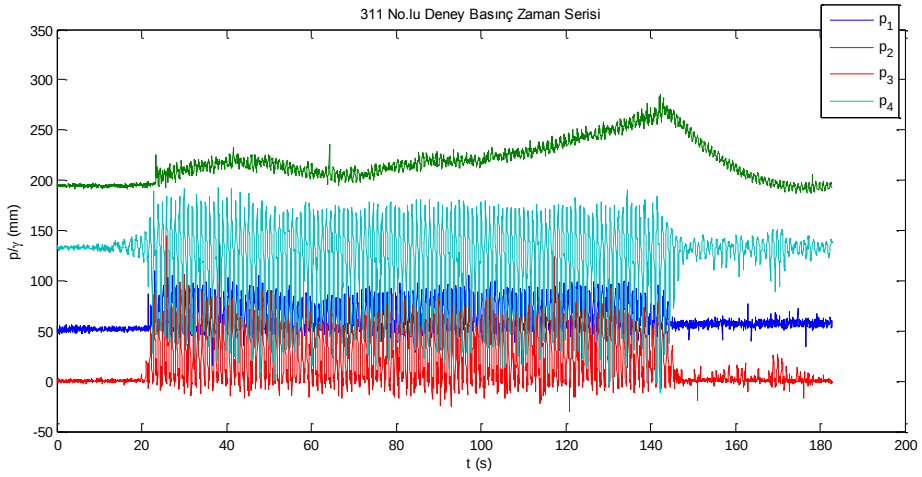
Şekil C.188 : 307 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



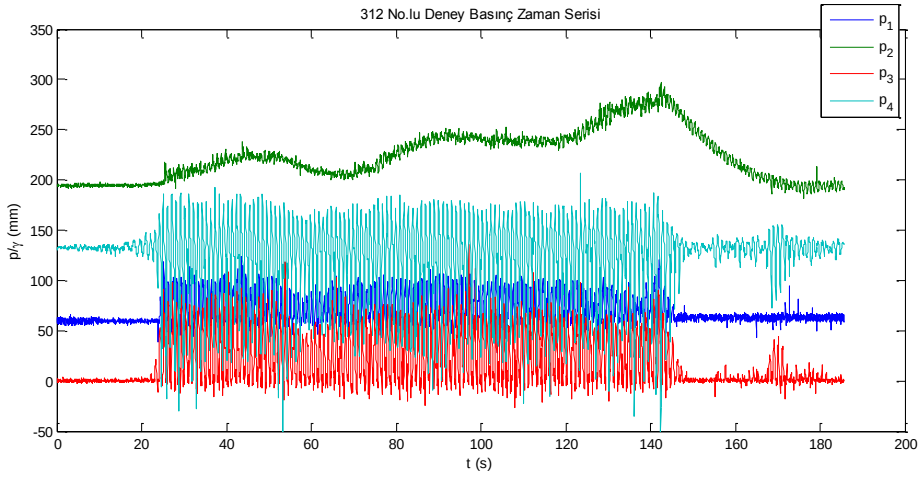
Şekil C.189 : 308 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



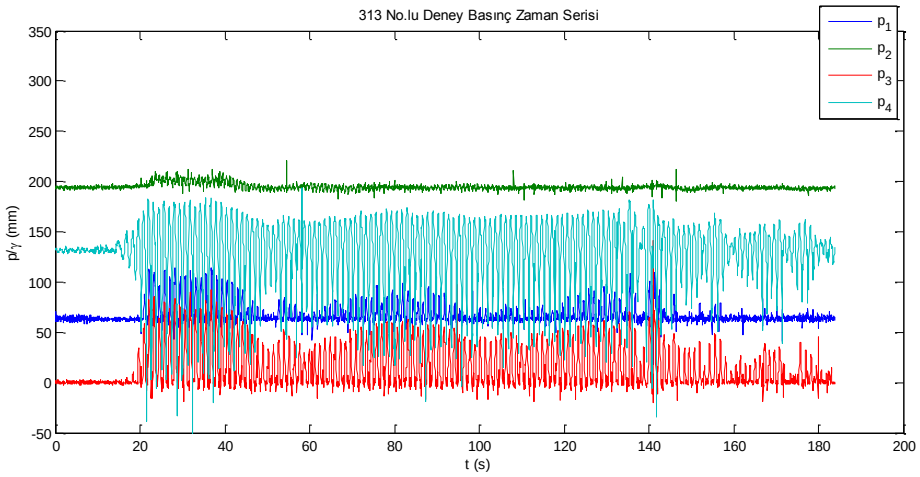
Şekil C.190 : 310 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



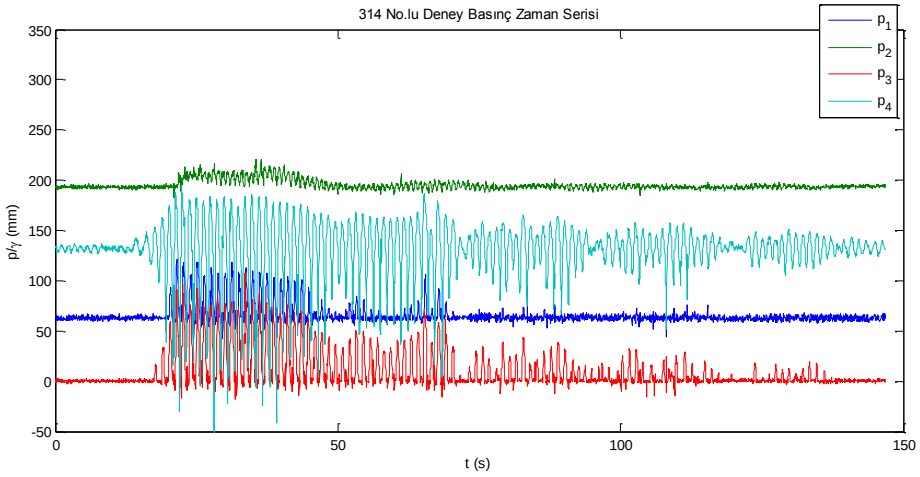
Şekil C.191 : 311 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



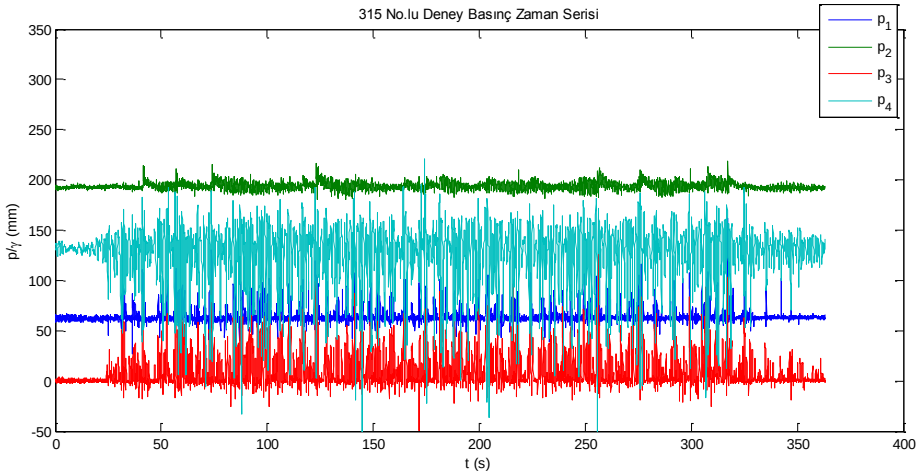
Şekil C.192 : 312 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



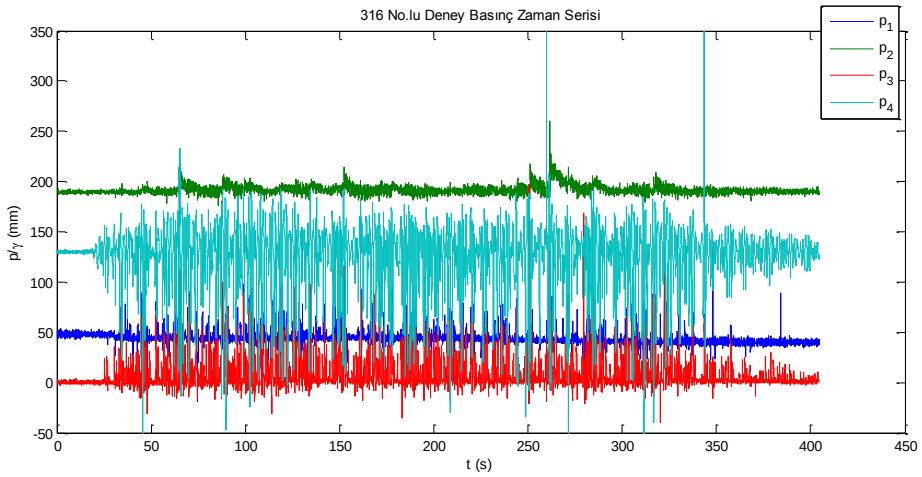
Şekil C.193 : 313 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



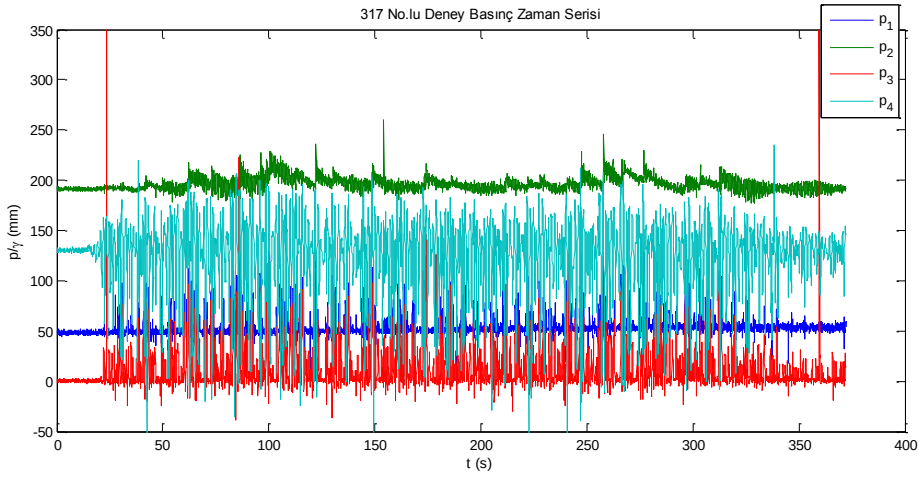
Şekil C.194 : 314 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



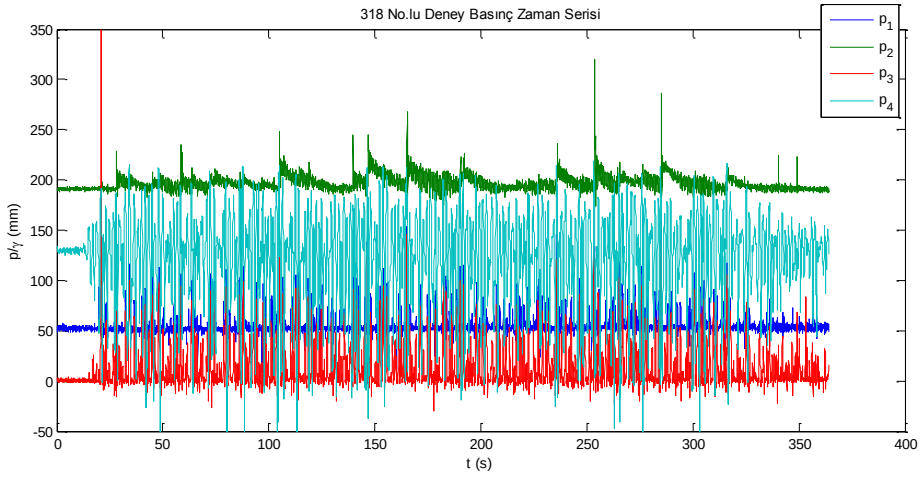
Şekil C.195 : 315 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



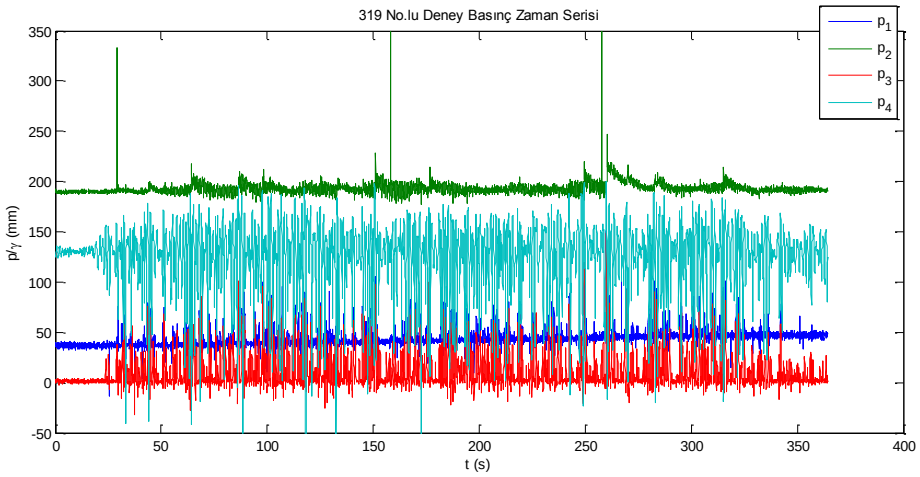
Şekil C.196 : 316 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



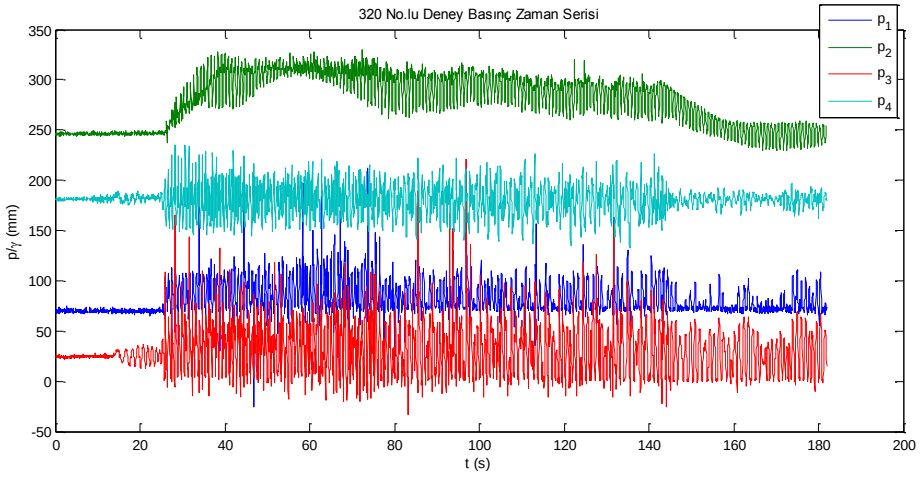
Şekil C.197 : 317 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



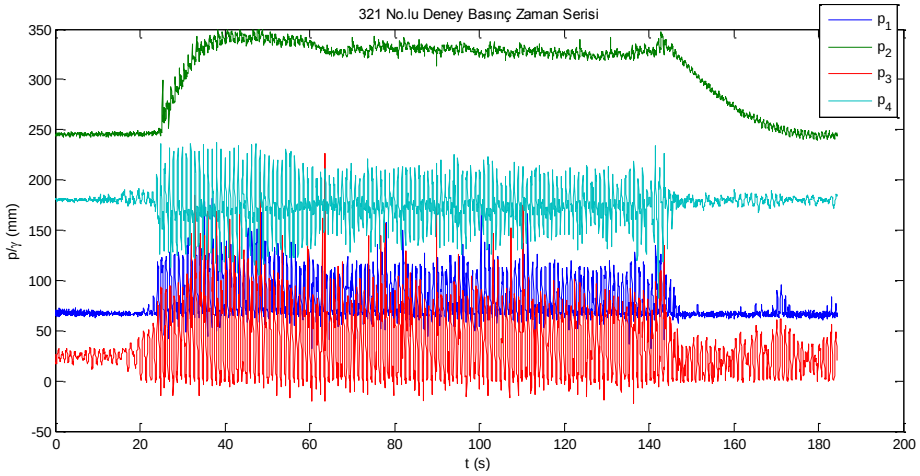
Şekil C.198 : 318 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



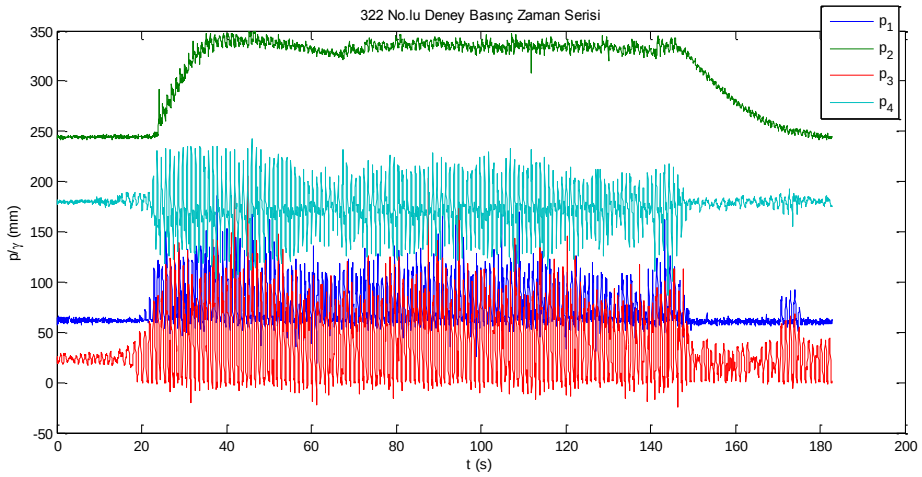
Şekil C.199 : 319 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



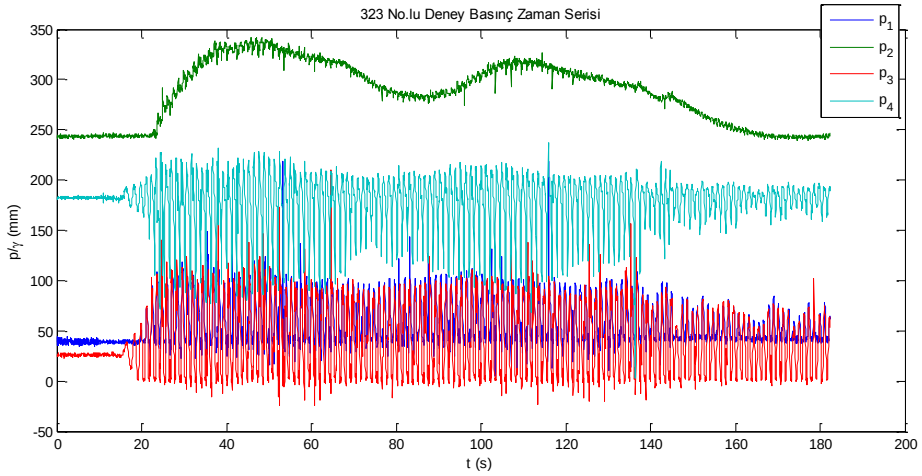
Şekil C.200 : 320 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



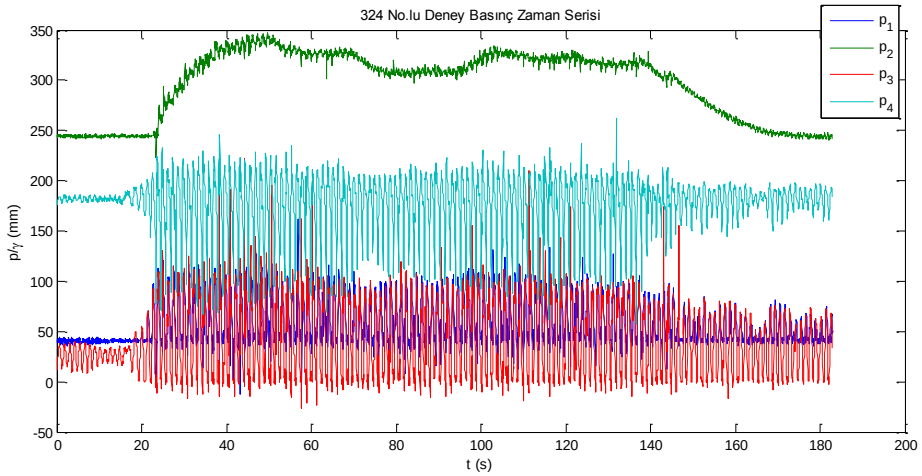
Şekil C.201 : 321 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



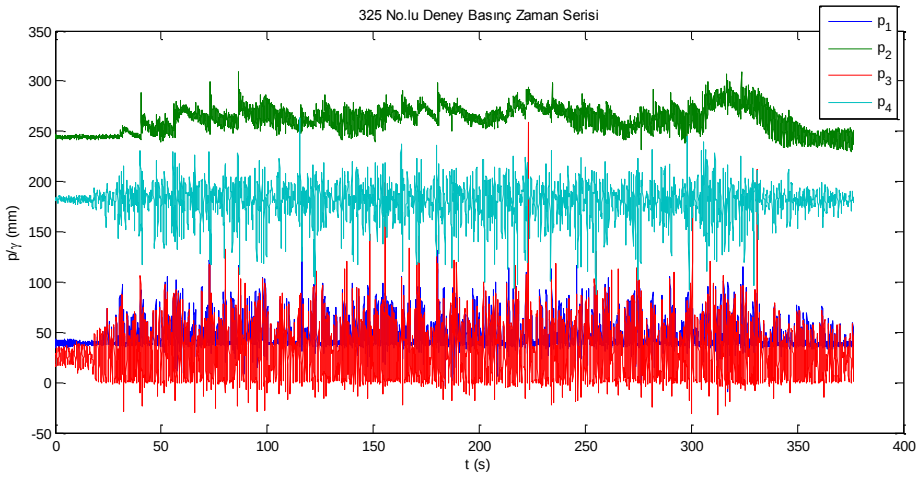
Şekil C.202 : 322 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



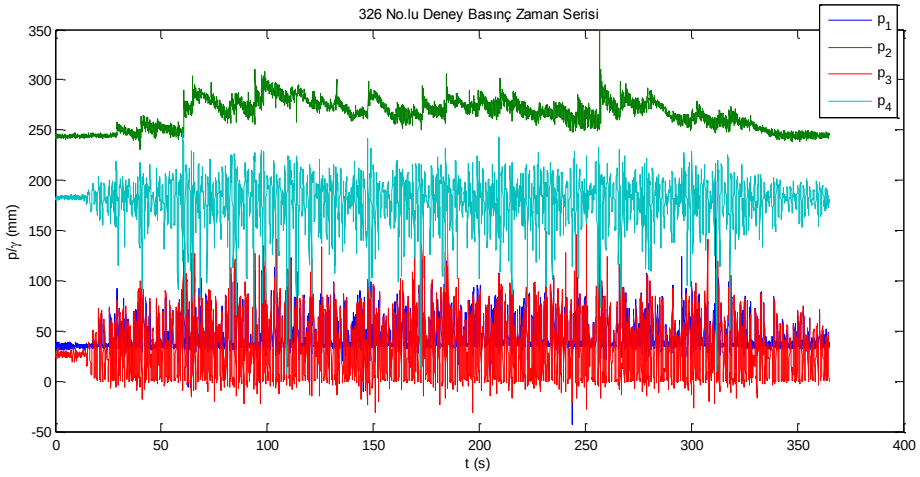
Şekil C.203 : 323 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



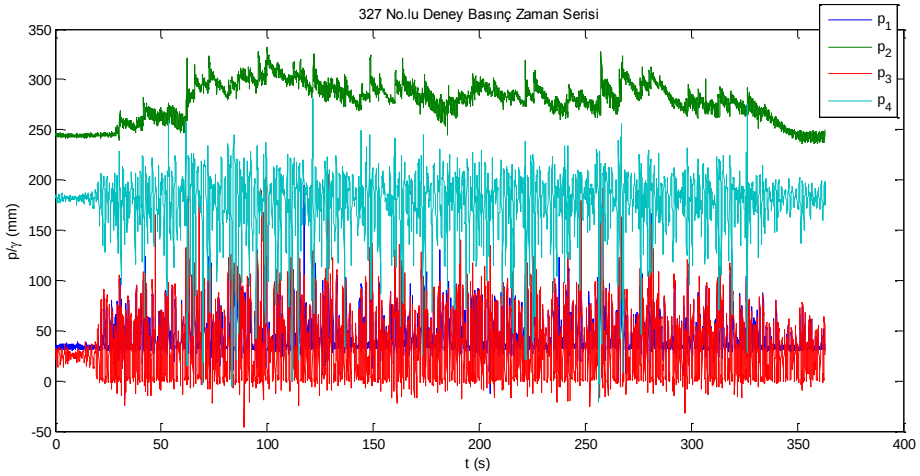
Şekil C.204 : 324 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



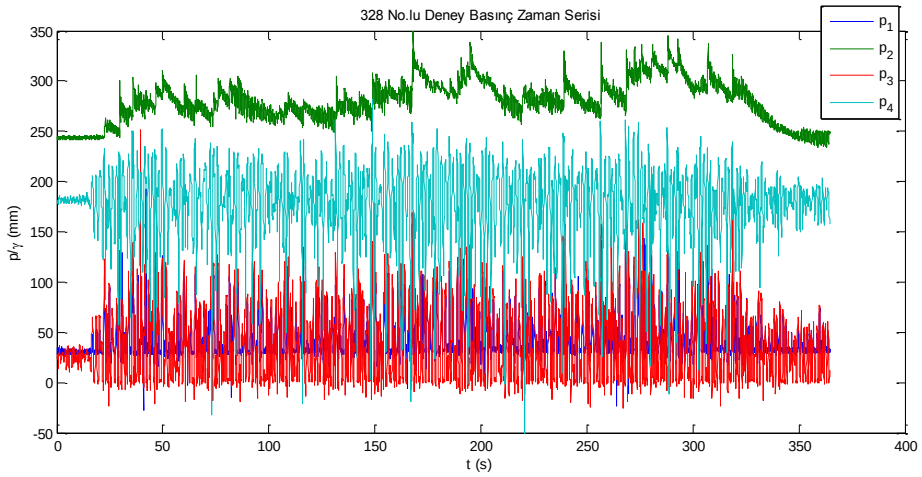
Şekil C.205 : 325 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



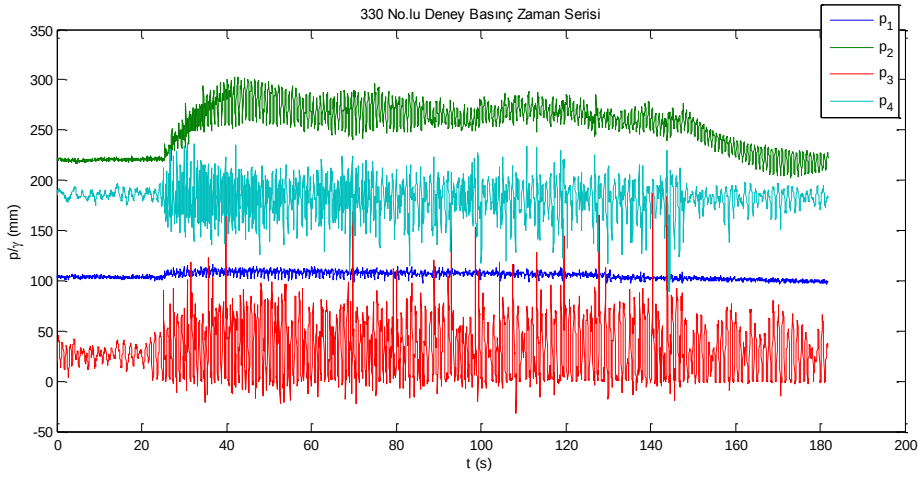
Şekil C.206 : 326 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



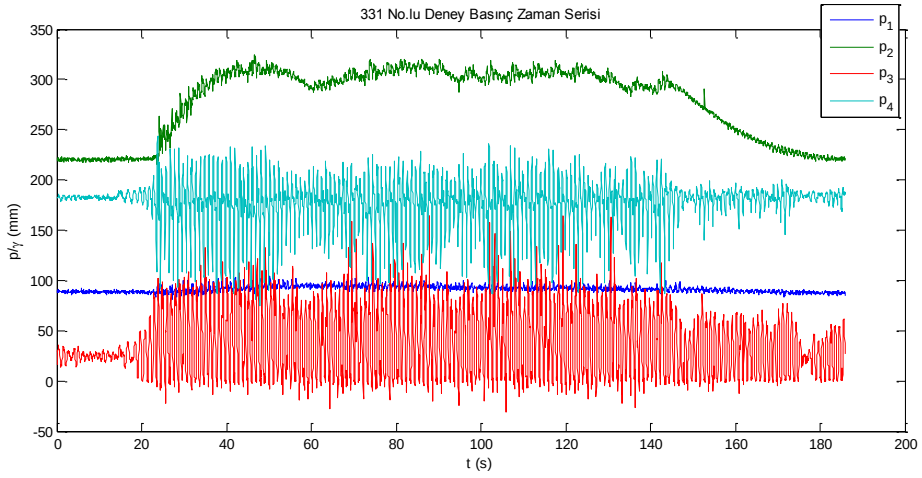
Şekil C.207 : 327 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



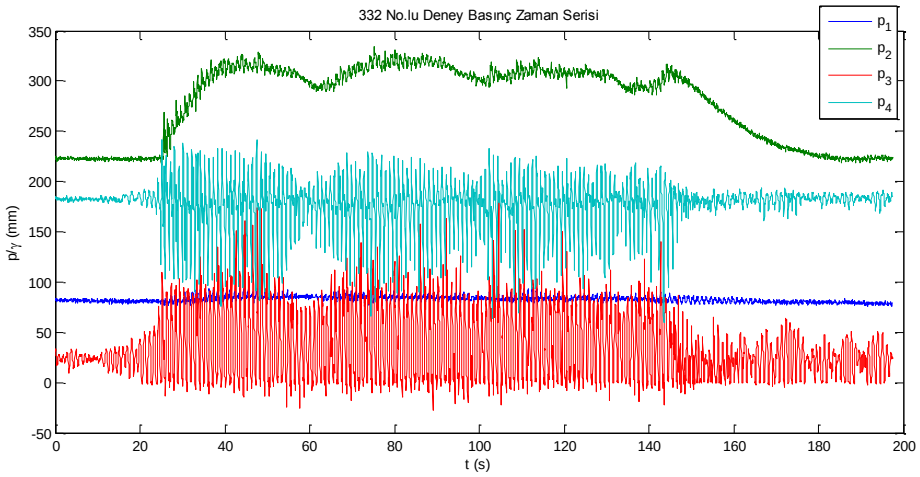
Şekil C.208 : 328 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



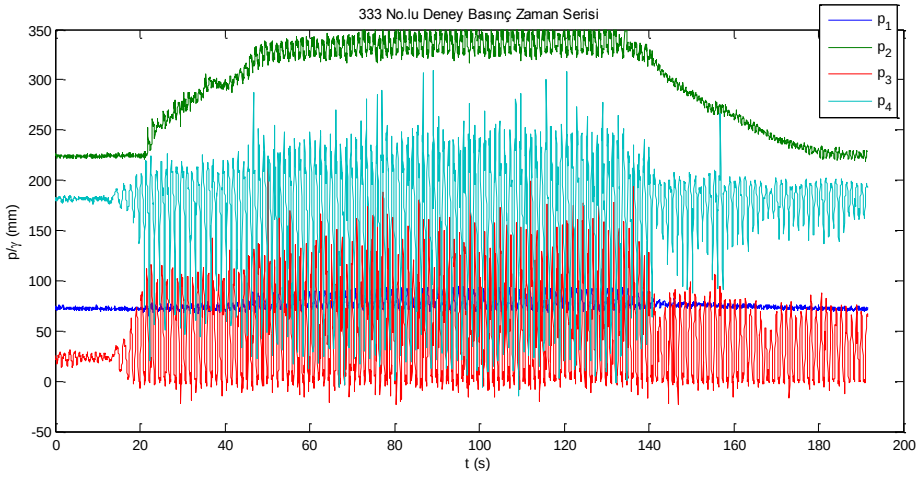
Şekil C.209 : 330 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



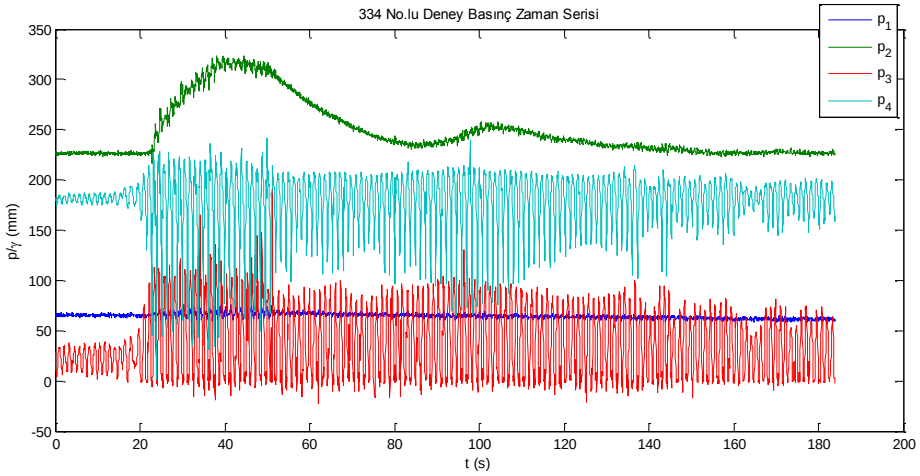
Şekil C.210 : 331 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



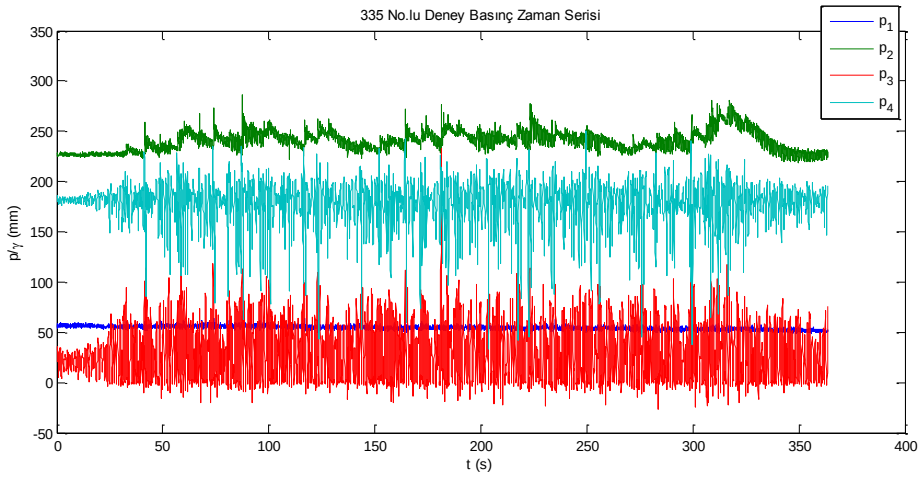
Şekil C.211 : 332 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



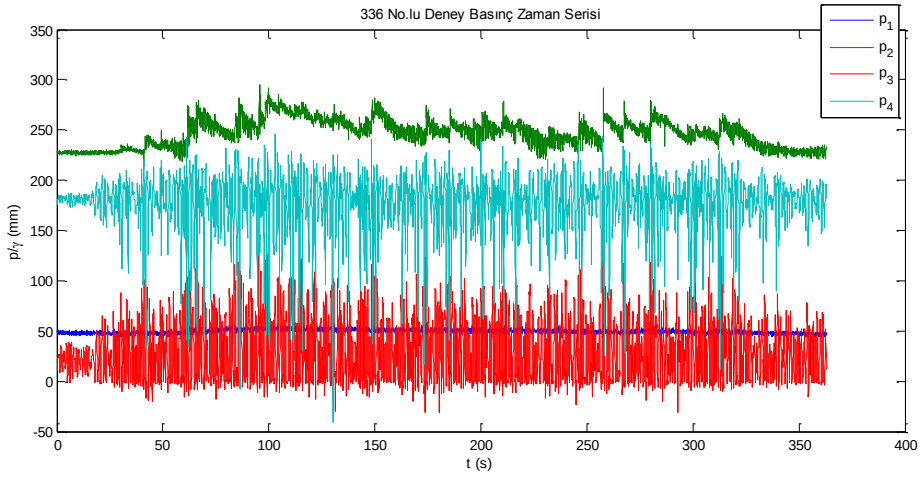
Şekil C.212 : 333 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



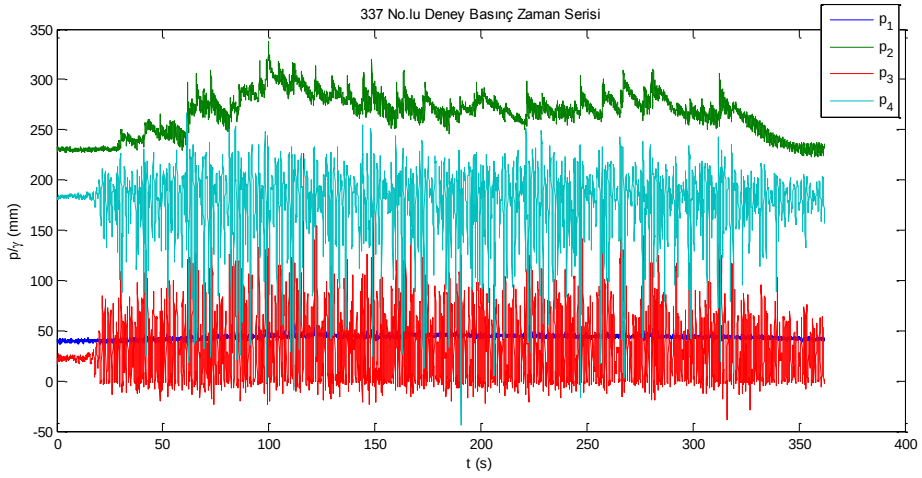
Şekil C.213 : 334 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



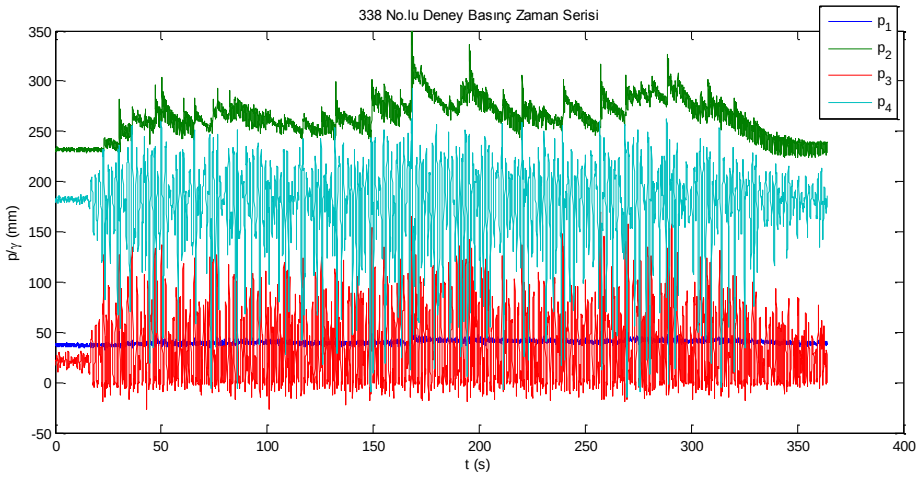
Şekil C.214 : 335 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



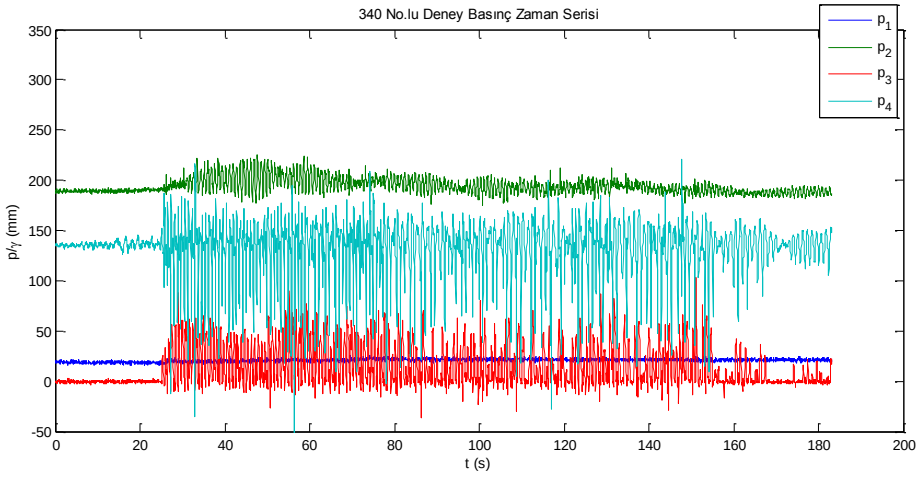
Şekil C.215 : 336 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



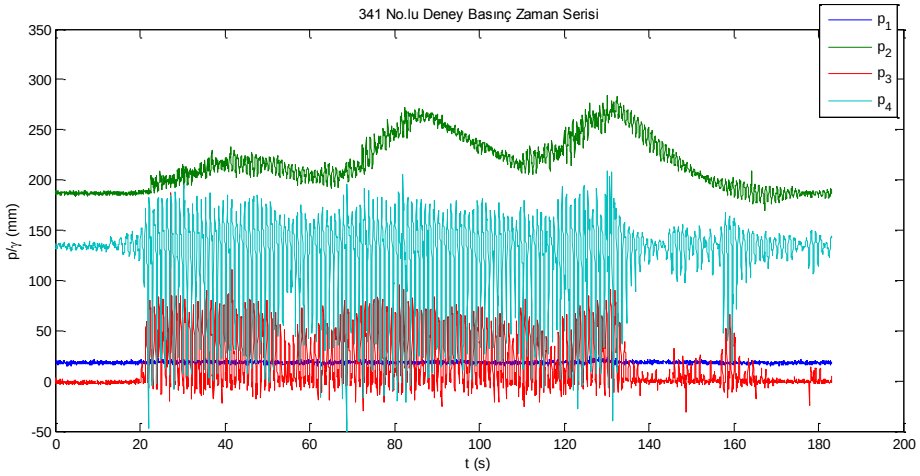
Şekil C.216 : 337 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



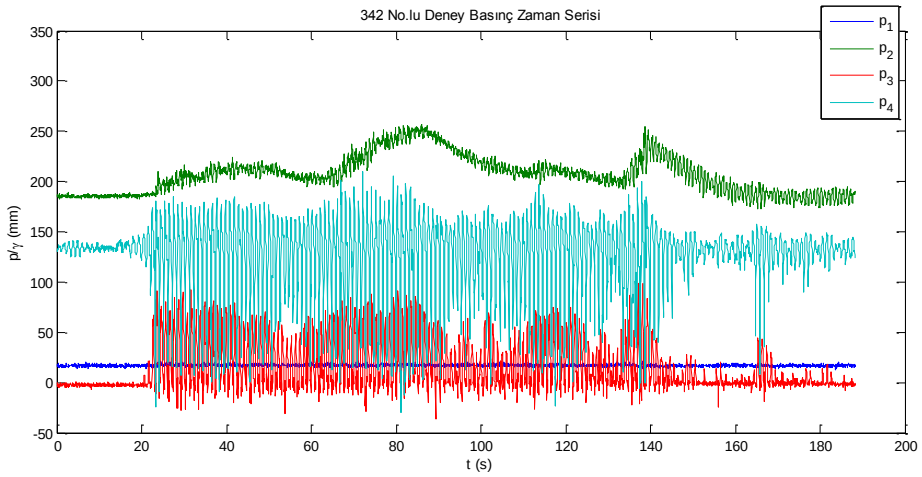
Şekil C.217 : 338 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



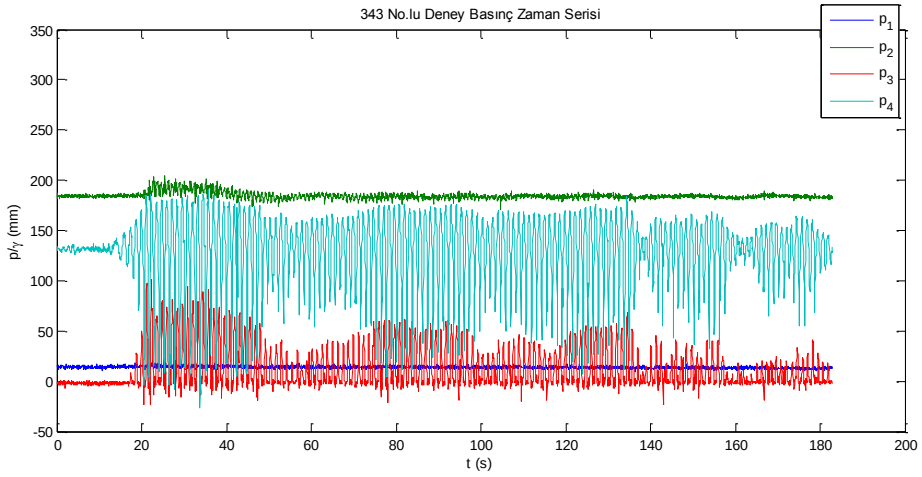
Şekil C.218 : 340 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



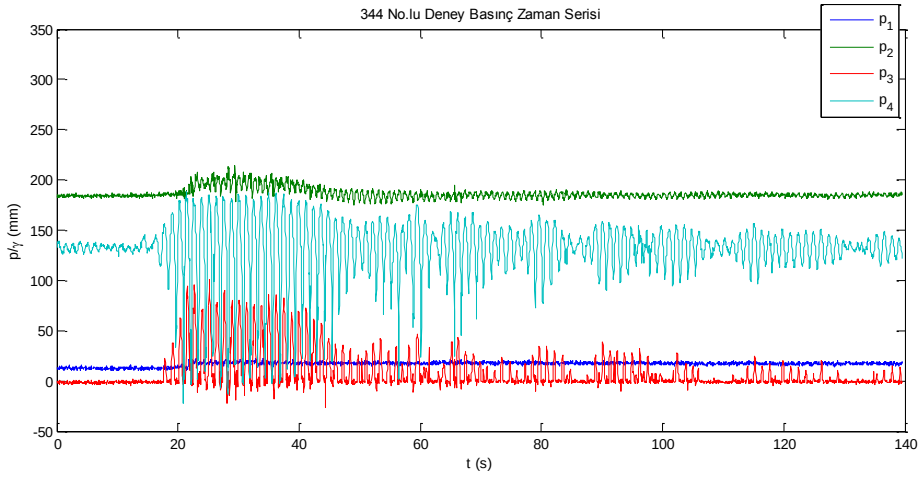
Şekil C.219 : 341 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



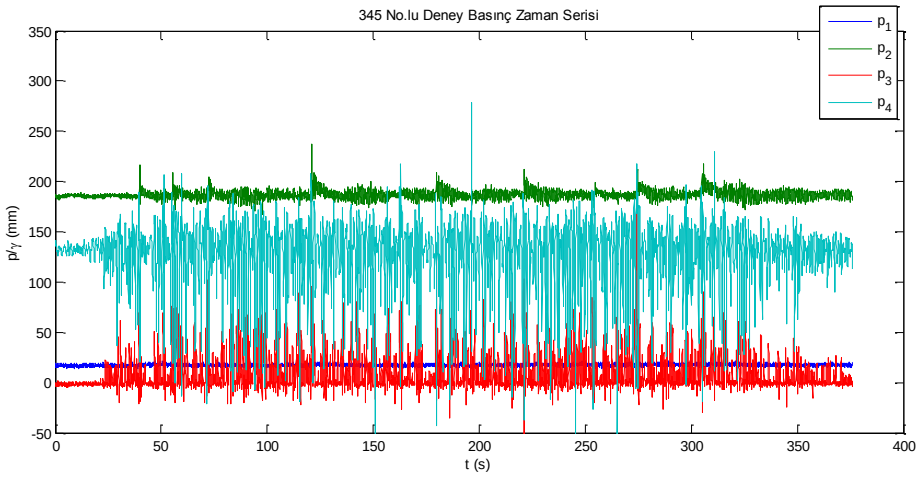
Şekil C.220 : 342 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



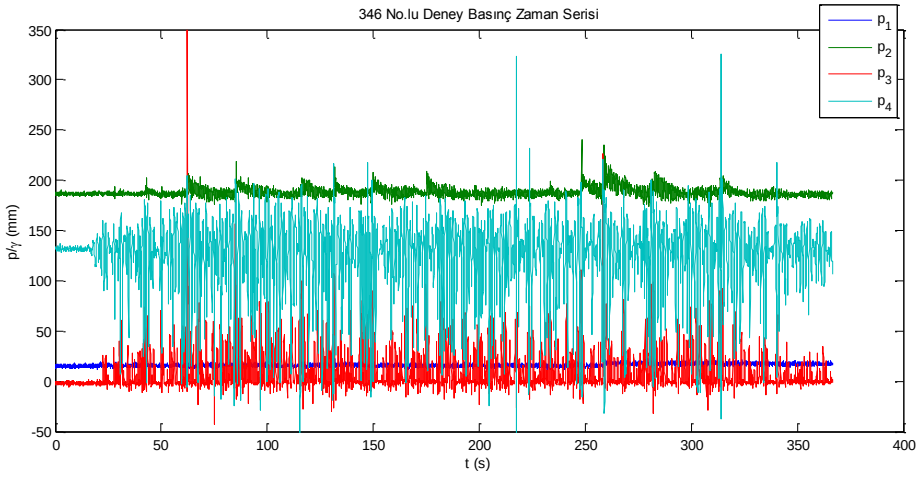
Şekil C.221 : 343 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



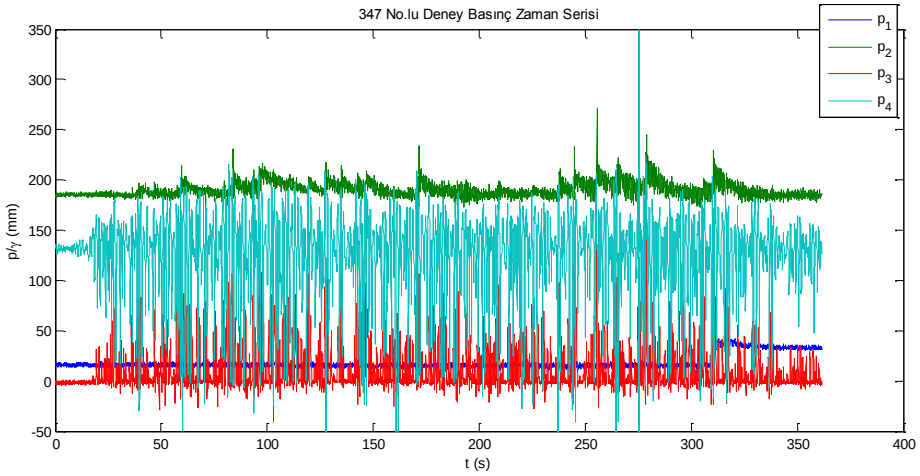
Şekil C.222 : 344 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



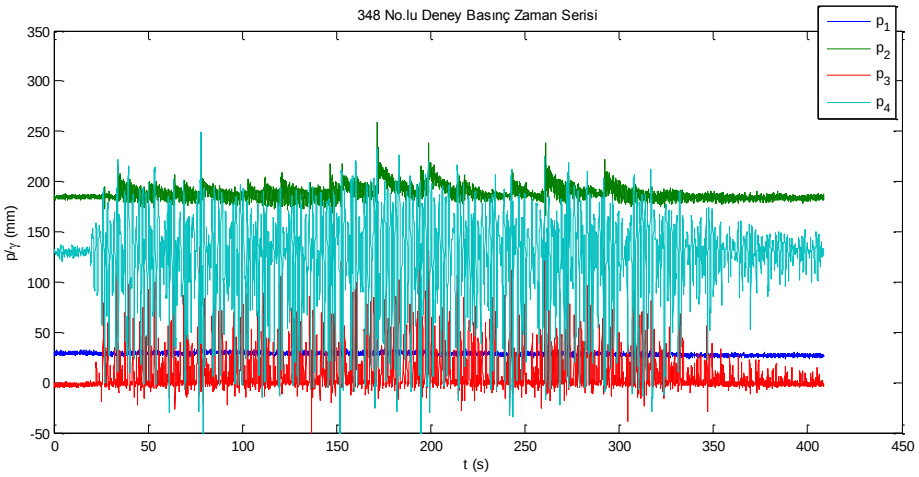
Şekil C.223 : 345 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



Şekil C.224 : 346 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



Şekil C.225 : 347 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.



Şekil C.226 : 348 Numaralı deneyde kaydedilmiş ham basınç zaman serileri.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad **:** Özgür Evren VAROL

Doğum Yeri ve Tarihi **:**Ankara, 23.03.1977

Adres **:** Boğaziçi Sitesi B-16 Blok D:12 İstinye / İSTANBUL

Lisans **:** İstanbul Teknik Üniversitesi - Çevre Mühendisliği

Yüksek Lisans **:**İstanbul Teknik Üniversitesi – Çevre Mühendisliği