

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NEHİR HİDROELEKTRİK ENERJİ POTANSİYELİNİN
HESAPLANMASINDA YENİ BİR YAKLAŞIM (ENERJİ AĞACI YÖNTEMİ)
VE MURAT NEHRİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Sadık ALASHAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Programı

ŞUBAT - 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NEHİR HİDROELEKTRİK ENERJİ POTANSİYELİNİN
HESAPLANMASINDA YENİ BİR YAKLAŞIM (ENERJİ AĞACI YÖNTEMİ)
VE MURAT NEHRİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

**Sadık ALASHAN
501112504**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Programı

**Tez Danışmanı: Zekâi ŞEN
Eş Danışman: Z. Fuat TOPRAK**

ŞUBAT - 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501112504 numaralı Doktora Öğrencisi **Sadık ALASHAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Nehir Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Hesaplanmasında Yeni Bir Yaklaşım (Enerji Ağacı Yöntemi) ve Murat Nehri Örneği**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Zekai ŞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Doç. Dr. Z. Fuat TOPRAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. M. Emin KARAHAN
Beykent Üniversitesi

Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet Duran Şahin
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet Doğan
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **28 Aralık 2015**

Savunma Tarihi : **26 Şubat 2016**

Emektar annem Müşrika Alashan adına

ÖNSÖZ

Öncelikle bana öğrencisi olma şerefini verdiği için sonra mükemmel bir hoca, dahi bir bilim adamı, özverili ve samimi bir insan olan danışman hocam Zekai ŞEN'e şahsıma , okul arkadaşlarıma, bilim dünyası ve insanlığa katkılarından dolayı kendi adıma teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca nezaketiyle ve sabrıyla yoğun emek harcayarak çalışmalarımı baştan sona inceleyen, düzeltmelerde ve tavsiyelerde bulunan eş danışmanım ve çok değerli hocam Doç. Dr. Z. Fuat TOPRAK'a teşekkürlerimi sunuyorum. Tez çalışmalarım esnasında kıymetli zamanlarını beni dinlemeye ayıran ve tavsiyelerde bulunan jüri üyelerim Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ, Prof. Dr. M. Emin KARAHAN ve Prof. Dr. Hayrullah Ağaçcıoğlu hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Bingöl Üniversitesi bilgisayar mühendisliği bölümünde görev yapan Arş. Gör. Sedat GOLGİYAZ arkadaşşıma sentetik serilerin programlanması aşamalarında verdiği katkılardan dolayı teşekkür ediyorum. Ayrıca doktora öğrenimim süresince hoşgörü ve alakalarını benden esirgemeyen Prof. Dr. Emine BEYHAN, Prof. Dr. İsmail DURANYILDIZ, Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU, Prof. Dr. Hafzullah AKSOY ile Doç. Dr. Abdüsselam ALTUNKAYNAK hocalarıma ve Arş. Gör. Yavuz Selim GÜÇLÜ ile Arş. Gör. İsmail DABANLI arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Aralık 2015

Sadık ALASHAN
Araştırma Görevlisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Türkiye'nin Enerji Politikası ve Potansiyeli.....	3
1.2 Tezin Amacı, Önemi ve Kapsamı	6
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
2.1 Giriş	9
2.2 Brüt Enerji Hesaplama Çalışmaları	9
2.3 Sentetik Seri Üretme Çalışmaları	11
2.4 İklim Değişikliği İle Alakalı Çalışmalar.....	12
3. ÇALIŞMA ALANI.....	17
3.1 Murat Nehri.....	17
3.1.1 Coğrafi konum	17
3.1.2 Havza topoğrafyası.....	18
3.1.3 Akım gözlem istasyonları ve çalışmada kullanılan veriler	19
3.1.4 Hidroelektrik Tesisler	24
3.2 İklim Değişikliğinin Murat Nehri Üzerindeki Etkisi.....	24
3.3 Hudson Nehri	31
3.4 Çoruh Nehri.....	32
3.5 Kızılırmak Nehri	33
4. VERİLERİN İSTATİSTİK ANALİZİ	35
4.1 Amaç.....	35
4.2 Olasılık Dağılım Fonksiyonları.....	35
4.2.1 Normal dağılım	35
4.2.2 Log-normal dağılım.....	36
4.2.3 Gamma dağılım	36
4.2.4 Genelleştirilmiş ekstrem değerdağılımı	37
4.3 Olasılık Dağılımı Uygunluk Testleri	37
4.3.1 Olasılık çizgisi korelasyon testi.....	37
4.3.2 Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi.....	38
4.4 Sentetik Seri Üretme Yöntemleri	38
4.4.1 Log-normal dağılım	38
4.4.2 Markov zincirleri.....	39
4.4.3 Dalgacık yöntemi	39
4.5 Sentetik Veri Türetilmesi.....	40
4.5.1 Olasılık Dağılım Parametreleri	40

4.5.2 Uygunluk Testleri	41
4.5.2.1 Olasılık çizgisi korelasyon testi	41
4.5.2.2 Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi.....	42
4.5.3 Sentetik Seri Üretilmesi.....	43
4.5.3.1 Log-normal dağılım yöntemiyle sentetik seri üretilmesi.....	43
4.5.3.2 Markov zincirleri yöntemiyle sentetik seri üretilmesi.....	44
4.5.3.3 Dalgacık yöntemiyle sentetik seri üretilmesi.....	47
4.5.4 Sentetik seri yöntemlerinin kıyaslanması.....	48
5. YÖNTEM GELİŞTİRME ESASLARI.....	51
5.1 Hipsografik Eğriler Yöntemi	51
5.2 Düşü-Akım Diyagramları Yöntemi	51
5.3 Enerji Ağacı Yöntemi.....	56
5.4 Güç Hesaplama Yöntemlerinin Kıyaslanması.....	58
6. GÜÇ HESAPLAMASI UYGULAMALARI.....	61
6.1 Sentetik Serilerle Güç Üretimi.....	61
6.1.1 Hipsografik eğriler yöntemi.....	61
6.1.2 Düşü-Akım diyagramları yöntemi	62
6.1.3 Enerji ağacı yöntemi	63
6.2 Murat Nehir Havzası Potansiyel Risk Analizi.....	63
6.3 Ölçülmüş Değerlerle Güç Hesaplanması	67
6.4 Enerji Ağacı Yönteminin Test Edilmesi “Gri Nokta” Test Yöntemi.....	72
7. SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR.....	81
EKLER	89
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AR1	: 1. derece Markov modeli
AR2	: 2. derece Markov modeli
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DA	: Düşü-Akım Yöntemi
DF	: Drawndown-Flow Method
DSİ	: Devlet Su İşleri
EA	: Enerji Ağacı Yöntemi
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPA	: Environmental Protection Agency
ET	: Energy Tree
GEV	: Generalization Extreme Values
GIS	: Geographic Information Systems
HC	: Hypsographic Curves
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
PPCC	: Probability Plot Correlation Coefficient
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Murat Nehri akım gözlem istasyonlarına ait istatistik bilgiler	20
Çizelge 3.2: Murat Nehri su gücünün iklim değişikliği sonuçları	31
Çizelge 3.3: Hudson Nehri akım gözlem istasyonlarına ait istatistik bilgiler.....	32
Çizelge 3.4: Çoruh Nehri akım gözlem istasyonlarına ait istatistik bilgiler	33
Çizelge 3.5: Kızılırmak Nehri akım gözlem istasyonlarına ait istatistik bilgiler	34
Çizelge 4.1: Olasılık dağılım parametreleri	41
Çizelge 4.2: Olasılık çizgisi korelasyon testi	42
Çizelge 4.3: Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi	42
Çizelge 4.4: Gözlenmiş ve üretilmiş seriler (Lognormal dağılım).....	43
Çizelge 4.5: Olasılık geçiş matrisi.....	45
Çizelge 4.6: Toplam olasılık geçiş matrisi.....	46
Çizelge 4.7: Gözlenmiş ve üretilmiş seriler (Markov zinciri)	46
Çizelge 4.8 : Gözlenmiş ve üretilmiş seriler (Dalgacık)	47
Çizelge 4.9: Gözlenmiş ve üretilmiş seri parametre farkları.....	49
Çizelge 5.1: Yöntemlerin kıyaslanması.....	59
Çizelge 6.1: Murat Nehri brüt enerji hesaplamaları (Hipsografik eğriler)	62
Çizelge 6.2: Murat Nehri brüt enerji hesaplamaları (Düşü-akım diyagramları).....	63
Çizelge 6.3: Murat Nehri brüt enerji hesaplamaları (Enerji Ağacı)	64
Çizelge 6.4: Murat Nehri havzası belirli risk seviyelerinde debi değerleri	65
Çizelge 6.5: Risk seviyelerinde enerji ve güç değerleri(Hipsografik Eğriler).....	65
Çizelge 6.6: Risk seviyelerinde enerji ve güç değerleri(Düşü-akım diyagramları) ...	66
Çizelge 6.7: Risk seviyelerinde enerji ve güç değerleri(EA yöntem)	66
Çizelge 6.8: Gri nokta test yöntemiyle yöntemlerin kıyaslanması	75
Çizelge A.1 : Normal dağılım (z) çizelgesi	90
Çizelge A.2 : Olasılık çizgisi korelasyon testi kritik değerleri(Normal dağılım)	91
Çizelge A.3 : Olasılık çizgisi korelasyon testi kritik değerleri (GEV dağılım)	92
Çizelge A.4 : Olasılık çizgisi korelasyon testi kritik değerleri (Gamma dağılım).....	92
Çizelge A.5 : Kolmogorov-Smirnov testi kritik α değerleri	93

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye Kurulu Kapasite (2015).....	5
Şekil 1.2 : 1970-214 arası Türkiye enerji türü kapasitesinin değişimi	6
Şekil 3.1 :Murat Nehir havzası	18
Şekil 3.2 : Murat Nehri dijital yükseklik haritası.....	19
Şekil 3.3: E21A002 nolu istaston aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.....	20
Şekil 3.4 : E21A052 nolu istaston aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.....	20
Şekil 3.5 : E21A022 nolu istaston aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.....	21
Şekil 3.6 : E21A064 nolu istaston aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.....	21
Şekil 3.7 : E21A057 nolu istaston aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.....	22
Şekil 3.8 : E21A058 nolu istaston aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.....	22
Şekil 3.9 : E21A077 nolu istaston aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.....	22
Şekil 3.10 : Bingöl, Muş ve Ağrı illeri için sıcaklık grafiği.	23
Şekil 3.11 : Bingöl, Muş ve Ağrı illeri için sıcaklık grafiği.	24
Şekil 3.12 : Gidiş Durumları a) sabit b) artan c) azalan d) çok düzenli artan e) çok düzenli azalan.....	28
Şekil 3.13 : Su Gücü Yönelimleri (2000 yılına kadar) a) E21A002 b) E21A064 c) E21A057 d) E21A058 e) E21A022.....	29
Şekil 3.14 : Su Gücü Yönelimleri (2011 yılına kadar) a) E21A002 b) E21A064 c) E21A057 d) E21A058 e) E21A022.....	30
Şekil 3.15 : Hudson Nehri havzası	32
Şekil 3.16 : Murat, Çoruh ve Kızılırmak Nehri havzaları	33
Şekil 4.1 : Haar dalgacık yöntemi (E21A002) a. Ayrıştırma b. Birleştirme.....	48
Şekil 5.1 : Ceyhan havzası brüt su potansiyelinin belirlenmesinde düşü-akım diyagramları yönteminin grafiksel gösterimi.	53
Şekil 5.2 : Havza alanı ile nehir akış yüksekliği değişimi.	54
Şekil 5.3 : Farklı standart hipsografik eğriler.	55
Şekil 5.4 : Murat Nehri için, a) Enerji ağacı b) Yükseklik-havza alanı grafiği, d) Yükseklik-debi grafiği, b) Debi-havza alanı grafiği.....	57
Şekil 6.1 : Murat Nehri güç ilişkileri a) Havza alanı-yükseklik b) Yükseklik-debi c) Havza alanı-debi.	68
Şekil 6.2 : Çoruh Nehri güç ilişkileri a) Havza alanı-yükseklik b) Yükseklik-debi c) Havza alanı-debi.	69
Şekil 6.3 : Kızılırmak Nehri güç ilişkileri a) Havza alanı-yükseklik b) Yükseklik-debi c) Havza alanı-debi.	70
Şekil 6.4 : Hudson Nehri güç ilişkileri a) Havza alanı-yükseklik b) Yükseklik-debi c) Havza alanı-debi.....	71
Şekil 6.5 : E21A019 nolu istaston gri nokta test yöntemi.	73
Şekil 6.6 : E21A056 nolu istaston gri nokta test yöntemi.	74

NEHİR HİDROELEKTRİK ENERJİ POTANSİYELİNİN HESAPLANMASINDA YENİ BİR YAKLAŞIM (ENERJİ AĞACI YÖNTEMİ) VE MURAT NEHRİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Dünya nüfusu hızla ve buna paralel olarakta hayat standartları ile beraber enerji ihtiyacı daha hızla artmaktadır. Bu durumun önemli bir sonucu olarak da enerji açığı da hızla artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı iki tip enerji kaynağından temin edilmektedir. Birinci tip enerji kaynakları; kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kaynaklardır. Bu tür kaynaklar kirli, tükenebilen ve sürdürülemez kaynaklar olarakta bilinmektedir. İkinci tip kaynaklar ise güneş, rüzgâr, hidrolik, hidrojen, biyolojik yakıt, jeotermal gibi enerji kaynakları olup bu tür kaynaklar temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları diye anılmaktadır. Hidroelektrik enerji, yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Türkiye yüksek hidroelektrik potansiyele sahip ülkelerden biridir. Bu durum ülkemizin alt tropikal iklim kuşağında bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu potansiyelinin ancak 35%'i işletme durumundadır. Dünya yenilenebilir enerji üretiminin yaklaşık %97'si hidroelektrik enerjiden meydana gelmektedir. Bu nedenle hidroelektrik enerji potansiyelinin mümkün olduğunca doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Literatürde, hidroelektrik enerji potansiyelinin hesaplanmasına yönelik çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan hipsografik eğriler ve düşü-akım diyagramları en çok kullanılan iki yöntemdir. Hipsografik eğriler yöntemi, giriş, ortalama ve çıkış havza yüksekliği ile havza giriş ve çıkış debilerini kullanarak yaklaşık olarak brüt enerji potansiyelini hesaplamaktadır. Bu yöntem hesaplama kolaylığı ve fazla veri gerektirmemesi açısından tercih edilmektedir. Düşü-akım diyagramları yöntemi ardışık istasyonlar arasında debi ve yükseklik değerlerini kullanarak brüt enerji potansiyelini hesaplamaktadır. Bu yöntem hipsografik eğriler yöntemine göre daha hassas sonuçlar vermektedir. Ancak istasyonlar arasındaki debi değişimini doğrusal kabul etmesi, debinin alanla doğrusal ve mesafe ile parabolik dağılımı ilkesine ters düşmektedir. Ayrıca söz konusu iki yöntem, enerji potansiyelini ardışık iki kesit arası için vermektedir. Son zamanlarda bu amaçla kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımlarının temel mantığı düşü-akım diyagramları yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntem akım verilerinin olmadığı bölgelerde enerji potansiyelinin hesaplanması açısından önem arz etmektedir. Ancak söz konusu yöntemde ölçülmüş debi verileri yerine yağış değerlerinden hesaplanan debi verileri kullanılmaktadır. Yağış-akış ilişkisinin teorik olarak çok karmaşık bir mekanizma ile meydana gelmesi, bu yöntemin sadece yaklaşık bir hesaplama imkânını sağlayabileceği açıktır. Ayrıca bu şekilde bir enerji hesaplama yöntemi, ticari yazılımlar, harita veya uydu görüntüleri gerektirdiğinden sınırlı ve pahalı bir uygulama alanı mevcuttur. Oysa bir akarsu havzasındaki brüt hidrolik enerjinin akarsu ve kolları boyunca kesintisiz olarak hesaplanmasına imkân veren, pahalı ve sınırlı uygulama alanına sahip olmayan yöntemlerin geliştirilmesi brüt hidroelektrik enerjinin çok daha doğru bir şekilde belirlenmesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada “Enerji Ağacı” adlı yeni bir yöntem, hidroelektrik enerji potansiyelini en iyi şekilde hesaplamak üzere geliştirilmiştir. Yöntem, ardışık iki istasyon ve bu istasyonlar arasındaki herhangi iki nokta arası için yatayda (debi-alan) ve düşeyde (debi-yükseklik) değişimini hesaba katmaktadır. Debinin yükseklikle değişimini de dikkate aldığından, diğer yöntemlere göre daha hassas sonuç vermektedir. Ayrıca havzanın enerji potansiyelini hem yatay hem de düşeyde görülmesini sağlamaktadır ki bu durum yöntemin görsel kabiliyetinin diğer yöntemlere göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

Söz konusu yöntem gerçek akım değerleri kullanılarak Murat, Yukarı Fırat, Çoruh, Kızılırmak ve Hudson havzalarına uygulanmıştır. Sınırlı sayıda veriye sahip olan akarsular için enerji ağacı yönteminin, anılan diğer yöntemlere kıyasla, işleyiş ve veriminin daha iyi olduğunu görmek için sentetik olarak üretilen verilere de uygulanmıştır. Bunun için Murat havzasına ait her bir istasyonun yıllık ortalama akım gözlem değerlerinin hangi dağılıma uyduğu olasılık çizgisi korelasyon ve Kolmogorov-Smirnov yöntemleri ile test edilmiştir. Anılan her iki test, verilerin log-normal dağılıma uyduğunu göstermiştir. Ölçülmüş verilerin sayıca az olduğu istasyonlar için log-normal dağılım, Markov ve dalgacık yöntemleri ile her bir istasyon için aynı uzunlukta 1000 adet sentetik seri üretilmiştir. Ayrıca elde edilen seriler kullanılarak istasyonlara ait tüm istatistik büyüklükler (ortalama, standart sapma ve çarpıklık katsayısı, değişim katsayıları gibi) elde edilmiştir. Bu büyüklükler kullanılarak söz konusu havza için kötümser, beklenen ve iyimser olmak üzere üç adet senaryo belirlenmiştir. Böylece, farklı senaryolara göre akımlar ile ilgili tahminler yapılmıştır.

Sonuç olarak hem gerçek hem de sentetik veriler kullanılarak hipsografik eğriler, düşü-akım diyagramları ve enerji ağacı yöntemleri ile Murat, Yukarı Fırat, Çoruh, Kızılırmak ve Hudson havzalarının brüt enerji potansiyeli konuma (koordinatlara) bağlı olarak belirlenmiş ve her üç yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, enerji ağacı yönteminin diğer yöntemlere göre daha çok hassas sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu yüzden, yeni yöntemin güvenle herhangi bir havzanın brüt hidroelektrik enerji potansiyelinin belirlenmesi için kullanılabileceği düşünülmektedir.

Tez toplam 7 ana bölümden ibarettir. Giriş bölümünde Türkiye’nin hidroelektrik potansiyeli ve politikası, tezin konu, kapsam, amaç ve önemine değinilmiştir. İkinci bölümde konuya ilişkin literatür tartışması verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma alanları tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde verilerin analizi tüm ayrıntıları ile verilmiştir. Verilerin hangi dağılıma uyduğu ve buna bağlı olarak sentetik veri üretilmesi de bu bölümde verilmiştir. Beşinci bölümde yöntem geliştirme esasları üzerinde durulmuş ve enerji ağacı yöntemi literatürde mevcut yöntemlerle teorik olarak karşılaştırılmıştır. Altıncı bölümde yöntemler, ölçülmüş ve sentetik olarak üretilmiş verilere uygulanmıştır. Bu bölümde ayrıca Murat Nehir Havzası potansiyel risk analizi ve enerji ağacı yönteminin “Gri Nokta” yöntemi ile yapılan test sonuçları da verilmiştir. Yedinci ve son bölümde sonuçlar karşılaştırılmış ve çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

A NEW METHODOLOGY FOR DETERMINING RIVER GROSS HYDROELECTRIC ENERGY POTENTIAL (ENERGY TREE) AND AN APPLICATION OF MURAT RIVER

SUMMARY

World population dramatically rises and accordingly energy requirements and the standard of life also increase more rapidly. As a result, the difference between the energy demand and supply rapidly increases by time.

The energy demand is supplied by two main sources. Coal, oil, and natural gas etc. can be mentioned among the first sources. Since, the fossil energy producibility depends on mass combustion, these sources cause soil, water, and air pollution, and therefore, they are called as unclean sources and lead to the greenhouse gases emissions, which cause to global climate change. According to the last IPCC report, greenhouse gases cause 99% of global climate change. Therefore, such sources are accounted among unsustainable energy types. Furthermore, their reservoirs are limited, and renewability of them takes millions years, therefore they are mentioned as exhaustible sources.

On the other hand, the second type includes solar, wind, hydraulic, hydrogen, biomass, and geothermal, etc., which are known as clean, inexhaustible, and sustainable energy sources. Turkey is one of the countries with high hydroelectric energy potential, but today only 35% of this potential is functional. This is due to its geographic position at subtropical climate region with upstream of Euphrates-Tigris Basin.

Today, 97% of the world sustainable energy production is based on the hydraulic energy. Hence, the hydroelectric energy takes place at the top of such clean, inexhaustible, and sustainable energy sources. Therefore, realistic determination of the gross hydropower potential is very important.

For realistic calculation of the hydroelectric energy refined methods are needed for better reliable results that are more than the previous ones that are available in open literature. There are many published works, but herein two of them are considered for the comparison purpose with the newly proposed one in this thesis. These are well-known Hypsographic Curves (HC) and Drawdown-Flow (DF) methods and they are frequently used in practices.

According to the HC method, first, weighted average elevation is calculated for a river basin and then discharge and elevation values are used for hydropower potential calculation. It is preferred over the other approach due to its simplicity and applicability in the poorly gauged basins. However, it gives approximate results.

The DF method calculates power potential as the multiplication of the specific weight by the elevation difference and the arithmetic average discharge at two points. This method gives more precise results than the first one. However, the flow variation between the two stations is accepted as linear. This assumption appears to contradict

with the real (physical) relationships between the flow and the area (which is linear) and between the flow and distance (which is parabolic). Furthermore, the SE two methods cannot show hydropower potential location simultaneously with second or higher degree stream's on a single scheme. This means that the methods have less visual ability.

On the other hand, the two mentioned methods give opportunity to calculate, theoretical gross power producible between two points only, but the points between them cannot be considered.

Geographic Information Systems (GIS) is used for the same goal in the last decades. The GIS software is based on the DF method. It has also applicability to poorly gauged basins. However, the software uses flow data obtained directly from the rainfall instead of the flow measurements directly from stations. As well-known, the physical relationship between the rainfall and flow is very complex issue. Therefore, this method has not reliable applicability for precise calculation. Furthermore, it requires expensive commercial software, maps, and satellite images, besides application of GIS is today expensive and limited. The methods used for determination of the gross hydropower potential in any basin should have more precise and visual ability; should be able to calculate continuously through the main river as well as the along its tributaries, and its application should be general, cheaper and easier to use

Under the above-mentioned considerations, the refined hydropower calculations for practical studies are necessary, which is the purpose of this thesis. An effective method, namely, energy tree (ET) is introduced with its application to data sets from Murat River a branch of the Euphrates River at the Eastern Anatolia Region of Turkey. Also Murat, Upper Euphrates, Çoruh, Kızılırmak and Hudson river basins are selected for the application of the new method. Murat River is located at the east of Turkey and it has about 250.76 m³/s mean flow. Inflow and outflow altitudes are 1,552 and 859 m above mean sea level, respectively. This means that Murat River basin has high hydropower potential. In this basin the flow data are obtained from the stations, namely, E21A002, E21A052, E21A022, E21A064, E21A057, E21A058, and E21A077. E21A002, E21A052, and E21A022 are established on the main channel of Murat River, whereas the rest; (E21A064, E21A057, E21A058, and E21A077) are established on the branches that are Goynuk, Karasu, Bingol, and Hınıs Streams, respectively. All stations are operated by Turkish General Directorate of State Hydraulic Works (DSI). Annual mean flow values are used as data for this study. Coruh river basin is located on northeastern corner of Turkey and it has six measurement stations, E23A004, E23A020, E23A016, E23A005, E23A022, and E23A015, on the main channel of Coruh River from upstream to downstream. The last station, E23A015, collects the flow from the basin area of 19,654 km². The first station at the upstream is E23A004 with its altitude of 1,545 m above mean sea level. The Coruh River discharges to the Black Sea. Kizilirmak river basin is located on central northern part of Turkey. There are seven stations with annual flow measurements on the main channel. These stations are labelled as E15A039, E15A001, E15A032, E15A003, E15A028, E15A036, and E15A033 from upstream to downstream. In total, the basin area at the last station, E15A033, is about 75,120 km² and after this station the river discharges to the Black Sea. E15A039 is the first station with altitude of 1,298 m above mean sea level. The Hudson River watershed has two main branches; namely, the Upper Hudson River and the Mohawk River. There are five stations with annual flow measurements on the main channel of Upper

Hudson River. These stations are 01331095, 01327750, 01318500, 01315500, and 01312000 from downstream to upstream in respective order.

The proposed method aims to combine the advantages and remove the weaknesses of the two above criticized methods that are available in the current literature, namely, hypsographic curves (HC) and the drawdown–flow (DF). In the calculations, it becomes necessary to consider empirical elevation-discharge and elevation-area relationships in the forms of mathematical power functions according to geomorphological structure of the streams. These functions help to calculate the discharge at any point within the drainage basin provided that the elevation is given for any desired point. When the application results are considered collectively, it is possible to conclude that ET yields more energy and it is also more robust than HC and DF methods. The main ramification in the application of the ET method is to consider the non-linear relationship between the elevation and discharge in the drainage basin. In another word, the method considers both the horizontal (flow-area) and vertical (flow-elevation) flow variations for the consecutive two stations and for any two points between them, which makes the method more precise. Furthermore, the method gives possibility to see the gross potential variation in horizontal and vertical directions. This means that the method has more visual ability than the others do.

In order to see calculation capability of ET for the basins with insufficient station number, it is applied to synthetically generated data. As the results, it is possible to say that ET yields more refined and physically plausible results in spite of insufficient station number. ET determines the gross power potential not only at two stations, but also at the points replaced between these two stations. Probability plot correlation coefficient (PPCC) and Kolmogorov-Smirnov (KS) are used in order to select the best fitting distribution of the flow data observed at each station in the basins. The tests show that the best distribution for the data is log-normal function for Murat River, therefore for the stations, which have insufficient data number, the data are synthetically generated by using this function in addition to Markov chain, and wavelet techniques. The statistical magnitudes (mean, standard deviation, coefficient of skewness, and coefficient of variance etc.) for each station are calculated by using the synthetic data. These statistics are then used to generate the best, the average, and the worst scenarios for better flow forecast.

The hypsographic curves, drawdown-flow, and energy tree methodologies are applied to the real and the synthetic flow data and the results are compared with each other. The comparison showed that the energy tree yields results that are more reliable and sensitive. So the new method can be used without any hesitation for determining the gross hydropower potential in any basin.

The thesis contains seven chapters. In the introduction chapter, the subject confines to Turkey energy policy, the potential, the goal, the importance, and the limitations of the study. In the second chapter, literature review is presented with investigations containing the discussion of the published works on both gross hydroelectric calculation and synthetic series generation techniques. In the third chapter, description of the study area is presented. The flow observation stations, climate characteristics of the basin like temperature and precipitation, and hydroelectric plants established in the study area are introduced. The climate change and its effects on the Murat River is investigated in the same chapter. The data analyses are detailed in the following chapter, which includes probability distribution functions

(i.e. normal, lognormal, gamma, and generalized extreme values); fitting tests (i.e. Kolmogorov-Smirnov and probability plot correlation coefficients), and synthetic series generation methods (i.e. log-normal, Markov chains and wavelet). Hence, in the chapter the key points are determined for applying the mentioned methods (ET, HC, and DF). In the fifth chapter, the methodology and previous methods are presented. The next chapter presents the application of the methods. In the last chapter, the results are discussed, The results are compared with each other and the weaknesses and strengths of the methods are reported. Finally, several important suggestions are offered to help the development of water resources management as the easy guide for such scientific studies.

1. GİRİŞ

Enerji, bir sistemin hareket kazanmasında temel faktördür ve canlı veya cansız tüm varlıklar hareket edebilmek için değişik enerji türlerine ihtiyaç duymaktadır. Canlılar ihtiyaç duydukları enerjiyi biyolojik sistemlerinde üretmektedir. İnsan dışı canlı varlıklar enerji gereksinimlerini doğal yollarla beslenerek karşılamaktadır. İnsanoğlu, hayatını daha rahat hale getirmek için gelişmiş beyin yapısı vasıtasıyla temel ihtiyaçlarını çok daha fazla çeşitlendirmektedir. Akıllı ve buna bağlı olarak sahip olduğu doğadaki üstün rolü sayesinde ihtiyaçlarının karşılanması için doğadan en üst seviyede yararlanabilmiştir. Özellikle teknolojinin gelişmesi ile birlikte doğayı kendi ihtiyaçlarına uygun hale getirmek için çok yoğun enerjiye ihtiyaç duymuştur. Enerjiye duyulan bu ihtiyaç teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha da artmıştır. İnsan nüfusundaki artış da göz önünde tutulduğunda enerjiye ihtiyacının gün geçtikçe artacağı söylenebilir.

Enerji ihtiyacı ya fosil kökenli ya da yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Kömür, doğalgaz, petrol, vb. fosil kökenli enerji kaynakları sınırlıdır. Bu yüzden bu tür enerji kaynaklarına tükenebilir enerji kaynakları da denilmektedir. Gelecek nesiller için fosil yakıt yataklarından kömürün 250 yıl, petrolün ise 50 yıl sonra tükeneceği düşünüldüğünde, bunların yerine yeni enerji kaynaklarının ikame edilmesinin ne kadar gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır (Şen, 2009). Fosil kökenli kaynaklarda enerji yanma sonucu elde edildiği için de bu tür kaynakların doğayı kirletici özelliği de bulunmaktadır. Fosil kökenli enerji kaynaklarının (antreasit, kömür, linyit, fuel-oil, motorin, LPG, nafta, doğalgaz gibi) kullanımı CO₂, CH₄, NO₂, vb. sera etkisi olan gazların üretilmesine ve diğer çevre kirliliklerinin meydana gelmesine, bunun bir sonucu olarak da küresel iklim değişimine neden olduğu düşünülmektedir (Şen, 2002). ABD’de sera gazı emisyonunun %90’ından fazlası fosil yakıtların yakılmasından meydana gelmektedir (U.S. EPA, 2000). Toprak ve diğ. (2013) her ne kadar boyutu, etkileri ve sonuçlarına ilişkin bilim insanları arasında tam bir mutabakat olmasa da küresel iklim değişikliğinin fiilen yaşandığını ve atmosferin ısındığını belirtmektedir. Bu

nedenle günümüzde insanoğlu temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışına girmiştir. Jeotermal, güneş, rüzgâr, hidroelektrik, dalga, gelgit ve hidrojen enerjisi üretim teknikleri böyle bir arayış sonucu geliştirilmiştir.

Hidroelektrik enerji özellikle alt tropikal iklim kuşaklarında doğal yollardan karşılanan en önemli yenilenebilir ve temiz enerji alternatifidir. Bu enerji türü çevre dostu olması ve teknik kullanılabilirliği ile en güvenilir alternatif enerji türlerinden biridir. Su gücü tesisleri (barajlar, hidroelektrik santraller (HES)) yakıt gerektirmeyen, düşük işletme ve bakım maliyeti olan kazançlı yapılardır (Wilson, 2015). Su gücünün de dahil olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımı iklim değişikliğini sınırlandıracak anahtar stratejidir (Harrison and Whittington, 2002). Enerji taleplerindeki sürekli artış azalan hidroelektrik üretimi ile birleştiğinde su gücü işletmeleri üzerinde önemli etkilere yol açabilir (Madani et al., 2014).

Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının en iyi (optimum) seviyede kullanımı, tükenebilir ve kirletici enerji kaynaklarının kullanımını azaltarak nüfus ve refah düzeyinin artması nedeniyle ileride olası enerji krizlerini engelleyici rol üstlenecektir. TÜİK (2013) verilerine göre ülkemizde, 240,154 GWh yıllık elektrik enerjisi üretiminin %26.6'sı kömürden, %0.7'si sıvı yakıtlardan, %43.8'i doğalgazdan, %24.7'si hidroelektrikten ve %4.2'si diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından ve atıklardan elde edilmektedir. Buna göre Türkiye'nin yıllık elektrik enerjisi üretiminin %71.07'si hâlâ kirletici özelliği ve sınırlı olan fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Finger ve diğ. (2012) dünya genelinde enerji üretiminin yaklaşık % 20'sinin su gücünden meydana geldiğini ifade etti.

Esas doğal kaynağı hidroelektrik enerji olmasına rağmen, Türkiye doğalgaz ve petrol gibi yabancı enerji kaynaklarına bağımlıdır. Çok sayıda hidroelektrik güç üretim noktaları olmasına rağmen, bu potansiyeli yalnızca %35 oranında kullanmaktadır. Türkiye'nin ana politikası yüksek enerji üretim potansiyeline sahip, Fırat – Dicle nehir havzasının üst kısmında yer alan Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde kurulu hidroelektrik kapasitesini artırmaktadır. Uluslararası Su Gücü Birliği (IHA) Türkiye'nin hidroelektrik üretiminin %65'inin Güneydoğu Anadolu Projesi'nin (GAP) bir sonucu olduğunu belirtti. Şimdilik, 294 hidroelektrik tesisi işletmede ve 148 proje inşaa halindedir (Yüksel, 2012; Url-2). 1954 yılında Devlet Su İşleri (DSİ) kurulması ile birlikte proje destekleri ve hidroelektrik üretim gittikçe arttı. Su ve rüzgâr gücü gibi temiz enerji kaynaklarında topografya ve morfoloji önemli rol

oynamaktadır. Şen tarafından (1999, 2001) Türkiye topoğrafyası sınıflandırılmıştır. Bir drenaj havzası hipsografik eğrilerindeki topoğrafik değişimler brüt su gücü potansiyelini belirlemek üzere basit ve etkili bir yöntem sunar.

Yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları potansiyelinin ve bu potansiyelin konumunun doğru bir şekilde tahmin edilmesinin ve/veya hesaplanmasının ülkemiz için de hayati bir öneme sahip olduğu açıktır. Yenilenebilir ve temiz enerji türleri arasında önemli bir yer tutan ve bu çalışmanın da konusunu teşkil eden hidrolik enerjiden, ya doğrudan suyun kinetik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek ya da suyun potansiyel enerjisi önce kinetik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülerek istifade edilmektedir. Suyun teorik kinetik enerjisi, aşağıda verilen temel kinetik enerji denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$E_{kinetik} = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (1.1)$$

Burada, E kinetik enerji; m kütle ve v hızdır. Bu çalışmada yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarından olan hidroelektrik enerjisinin potansiyelini ve bu potansiyelin konumunu belirlemek üzere “Enerji Ağacı Yöntemi” adında yeni bir yöntem geliştirilmiş ve Murat, Çoruh, Kızılırmak ve ABD’de Hudson havzasına uygulanmıştır. Bu yöntemin literatürde mevcut ve pratikte halen uygulanan klasik yöntemlere nazaran daha hassas ve güvenilir bir şekilde hidroelektrik enerji potansiyelini konumuna bağlı olarak belirleme imkânını vermesi sonucu tercih edilebileceği ve sonraki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

1.1 Türkiye'nin Enerji Politikası ve Potansiyeli

Son zamanlarda, Türkiye’nin, ekonomisindeki büyük gelişmelere paralel olarak elektrik enerjisi talebinde de hızlı bir artış meydana gelmiştir. DSİ’nin belirttiği üzere hidroelektrik santrallerinin kurulu kapasitesi 2013 yılında 13 GW ve 2023 yılında iki katına çıkarılması hedeflenmektedir. Yine DSİ kaynaklarına göre aynı zamanda, toplamda 8.5 GW beklenen kurulu kapasitesiyle 148 adet hidroelektrik tesisi inşa halindedir. Toplamda 15 GW kurulu kapasitesiyle 935 hidroelektrik tesis ise tasarım veya lisans aşamasındadır.

Türkiye durmadan artan enerji talebini (ortalama yıllık %8) rüzgâr, güneş ve jeotermal yenilenebilir enerji kaynaklarına ek olarak öncelikle ülkede mevcut

hidroelektrik üretim tesisleri ile karşılamak için sıkı bir şekilde çalışmaktadır. Basmacı (2006) ve Şen (2011)'e göre;

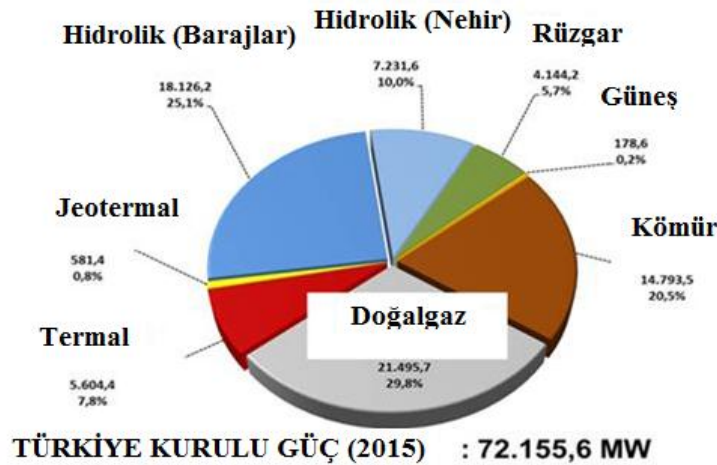
- Hidroelektrik üretim CO₂, SO₂, NO_x ve kül gibi emisyonları içerisinde barındırmadığından çevre dostudur.
- Hidroelektrik yerel olarak mevcut olduğundan ülkenin güvenilebilir bir enerji kaynağıdır.
- Hidroelektrik enerjinin en önemli özelliğinden biri de anlık olarak şebekeye enerji vermesi yani üretimde esnekliği sağlamasıdır. Böylece, hidroelektrik enerji üretimi akım frekansını ve voltajı düzenlemekte ve pik saatlerinde dengeyi sağlamaktadır.
- Barajların memba bölgesinde evsel, endüstriyel, sulama suyu temin etmekte ve yerleşim yerlerini ve ülkeleri taşkın, kuraklık tehlikelerine karşı korumaktadır.
- Hidroelektrik tesislerinde yaklaşık %80 inşaat ve geri kalan %20 elektromekanik maliyettir. Aksine, termik santrallerde yaklaşık %20 inşaat ve %80 elektromekanik maliyettir.

Günümüzde Türkiye'nin nüfusu 80 milyon civarındadır. 2009 yılı itibariyle Türkiye'nin sera gazı emisyonu kişi başı 5.09 tondur. Bu miktar OECD (İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı) ülkelerinin üçte biri ve EU (Avrupa Birliği) ülkelerinin yarısı kadardır. Türkiye'nin sera gazı emisyonu 1990 ve 2009 yılları arasında 187 milyon tondan 370 milyon tona yaklaşık iki katına çıkmıştır. Ancak 1950 yılından beri Türkiye'nin sera gazı emisyonu payı yalnızca %0.4 civarındadır.

Türkiye'nin su ve su gücü politikası günümüzde Ulusal, Avrupa Birliği ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ve Kyoto Protokolü mevzuatlarına bağlıdır. Türkiye Avrupa Birliği'ne aday ülkelerden biridir ve böylece Türkiye'deki kanunların Avrupa Birliği mevzuatına uygun olması beklenmektedir (Erdoğan, 2011). Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları ile alakalı özel sektörü desteklemeli ve ilgili vergileri ve yönetmenlikleri yeniden düzenlemelidir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile alakalı mevcut kanun ve yönetmenlikleri sınırlıdır (Daha fazla bilgi için yalnızca küçük hidroelektrik santralleri kapsayan 5346 nolu kanuna bakınız). Türkiye'nin hidroelektrik politikası şöyle özetlenebilir; Türk mevzuatına Avrupa Birliği düzeninden eklenen Elektrik Piyasası Kanunu Türkiye parlamentosunda 2001 yılında kabul edilmiştir. Bu

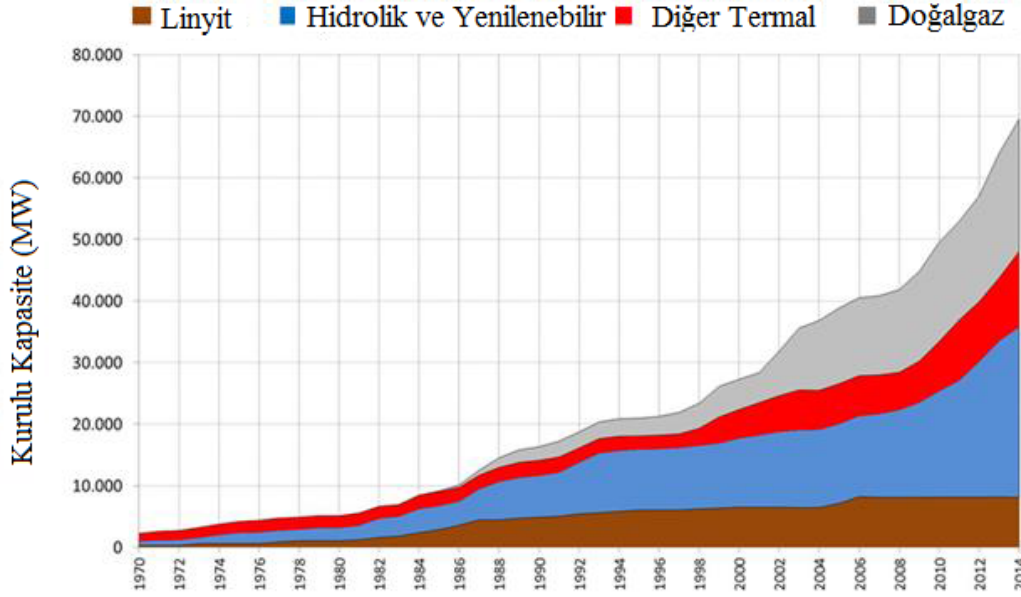
bağlamda, Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu 2002 yılında elektrik piyasası sorumluluğunu üstlenmeye ve yeni yönetmenliğin ilk uygulaması olarak hükümet su kaynaklarını da içeren toplam üretim kapasitesinin %53.7'lik kısmını özelleştirmeye başlamıştır. Böylece, hükümet yalnızca serbest piyasadaki özel şirketler arasında elektrik dağıtım, satış ve üretim konularında denetleme rolünü üstlenmektedir. Sonuç olarak, günümüzde evsel ve küçük ticari kullanıcılar enerji gereksinimlerini dağıtım şirketlerinden temin etmektedir. Elektrik dağıtımını yalnızca üç bölgede özel şirketler tarafından idare edilir. Ancak, bu durum dağıtım aktivitelerinin tüm bölgelerde yakın gelecekte özel dağıtıcılar tarafından yapılmasını kolaylaştıracaktır. Türkiye, Kyoto Protokolü görüşmeleri sırasında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) taraflarından değildi ve bundan dolayı Ek-1 görüşmelerinde listelenmesine rağmen Kyoto Protokolü Ek-B listesinde değildi. Türkiye, 26.12.2009 tarihinde Kyoto Protokolü'nün tarafı oldu. Protokolün Ek-B listesinde bulunmadığından herhangi bir sera gazı azaltma taahhütü üstlenmedi. Gelecekte Kyoto Protokolü'nün yanısıra UNFCCC uluslararası zorunluluklarını uygulamak için, Türkiye artan enerji talebini karşılamak üzere enerji teminini artırmak amacıyla enerji koruma ve yenilenebilir enerji konularında yeni yönetmenlikleri benimsedi. Türkiye günümüzde toplam enerji üretiminin %20'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından üretmektedir, ancak bu oranı 2023 yılına kadar %30 civarına çıkarmayı planlamaktadır (Url-4).

Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Bu şekilden de görüleceği üzere, Türkiye %41 oranında su gücü, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir ve temiz enerji kurulu kapasitesine sahiptir.



Şekil 1.1 : Türkiye Kurulu Kapasite (TEİAŞ, 2015).

Farklı enerji kaynaklarının kurulu kapasitelerinin gelişimi ve onların birbirine göre durumları yıl bazlı olarak Şekil 1.2’de görülmektedir.



Şekil 1.2 : 1970-2014 arası Türkiye enerji türü kapasitesinin değişimi (TEİAŞ, 2015).

1.2 Tezin Amacı, Önemi ve Kapsamı

Türkiye’de, yenilenebilir enerji tüketimi toplam enerji tüketiminin ancak %24.7’si olduğu düşünülürse, yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çok daha yoğun çalışmaların yapılması gerektiği söylenebilir. Bu da ancak mevcut yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin ve konumunun doğru bir şekilde tespit edilmesi ile sağlanabilir. Bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olan Enerji Ağacı (EA) öntem’inin bu alandaki açığı bir nebze olsun kapatacağı düşünülmektedir. Her ne kadar örnek uygulama alanı olarak Murat, Çoruh, Kızılırmak ve ABD’den Hudson nehir havzaları seçilmiş ise de bu yöntem özelliği itibari ile dünyanın her yerinde rahatlıkla kullanılabilecek şekilde genelleştirilebilir.

Güncel literatürde, hidroelektrik enerji potansiyelinin hesaplanmasına yönelik çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan hipsografik eğriler (HE) ve düşü-akım (DA) diyagramları en çok kullanılan iki yöntemdir. HE yöntemi, giriş, ortalama ve çıkış havza yüksekliği ile havza giriş ve çıkış debilerini kullanarak yaklaşık olarak brüt enerji potansiyelini hesaplamaktadır. Bu yöntem hesaplama kolaylığı ve fazla veri gerektirmemesi açısından tercih edilmektedir. DA diyagramları yöntemi ardışık istasyonlar arasında debi ve yükseklik değerlerini kullanarak brüt enerji potansiyelini hesaplamaktadır. Bu yöntem, HE yöntemine göre daha hassas sonuçlar vermektedir.

Ancak istasyonlar arasındaki debi değişimini doğrusal kabul etmesi, debinin alanla doğrusal ancak mesafe ile parabolik dağılımı ilkesine ters düşmektedir. Söz konusu iki yöntem, enerji potansiyelini ardışık iki kesit arası için vermektedir. Son zamanlarda bu amaçla kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımlarının temel mantığı DA diyagramları yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntem akım verilerinin olmadığı bölgelerde enerji potansiyelinin hesaplanması açısından önem arz etmektedir. Ancak söz konusu yöntemde ölçülmüş debi verisi yerine yağış değerlerinden hesaplanan debi verisi kullanılmaktadır. Yağış-akış ilişkisinin teorik olarak çok karmaşık bir mekanizma ile meydana gelmesiyle bu yöntemin ancak yaklaşık bir hesaplama imkânını sağlayabileceği açıktır. Ayrıca bu şekilde bir enerji hesaplama yönteminin, ticari yazılımlar, harita veya uydu görüntüleri gerektirdiğinden, sınırlı ve pahalı bir uygulama alanı mevcuttur. Oysa bir akarsu havzasındaki brüt hidrolik enerjinin akarsu ve kolları boyunca kesintisiz olarak hesaplanmasına imkân veren, pahalı ve sınırlı uygulama alanına sahip olmayan yöntemlerin geliştirilmesi brüt hidroelektrik enerjinin doğru bir şekilde belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla bu çalışmada “Enerji Ağacı” adlı yeni bir yöntem, hidroelektrik enerji potansiyelini hesaplamak üzere geliştirilmiştir. Yöntem, ardışık iki istasyon ve bu istasyonlar arasındaki herhangi iki nokta arası için yatayda (debi-alan) ve düşeyde (debi-yükseklik) debi değişimini hesaba katmaktadır. Debinin yükseklikle değişimini de dikkate aldığından diğer yöntemlere göre daha hassas sonuç vermektedir. Ayrıca havzanın enerji potansiyelini hem yatay hem de düşey doğrultularda görülmesini sağlamaktadır ki, bu durum yöntemin görsel kabiliyetinin diğer yöntemlere göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Giriş

Literatür araştırması genel olarak iki durum için yapılmıştır. Bunlar sentetik seri üretimi ve brüt enerji hesaplama çalışmalarıdır. Bu çalışmada teklif edilen yaklaşım yeni bir yöntem olduğu için bu konuda literatürde ilgili çalışma yoktur. Ancak daha önce yapılmış ve güncel literatürde yer almış farklı yöntemler araştırılmış, bu yöntemler kritik edilmiş ve bu çalışma kapsamında geliştirilen EA yönteminin sonuçları bu yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra konu ile ilgisi nedeniyle sentetik veri üretme teknikleri ve iklim değişikliği ile ilgili çalışmalara da yer verilmiştir.

2.2 Brüt Enerji Hesaplama Çalışmaları

Brüt su kuvvetinin hesaplanabilmesi için yöntem geliştirilmesi ve bu yöntemlerin uygulanması amacı ile yapılan ilk çalışma, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu tarafından 1953 yılında yayınlanmış olan rapordur (U.N. E.C.E., 1953). Söz konusu çalışmada, Avrupa'nın çeşitli ülkelerinin su kuvveti potansiyeli, aralarında HE ve DA diyagramlarının da bulunduğu dört yöntemle hesaplanmış ve sonuçlar ülkeler için tablolar halinde özetlenmiştir. İlave olarak 1968 yılında aynı kuruluş tarafından 1953 yılında bulunan değerlerin, arada geçen süredeki birikimlerin ışığında yeniden değerlendirilmesi niteliğinde olan bir başka çalışma daha yapılmıştır (U.N. E.C.E, 1953 and 1968). Birleşmiş Devletler (UN) Avrupa Ekonomik Konseyi (ECE) tarafından 1955 yılında Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, HE yöntemi ile 83 adet gözlem istasyonu ve 700 istasyon-yıl değeri kullanılarak 61,248 MW güç ve yıllık 537 TWh enerji olarak hesaplanmıştır (U.N. E.C.E, 1953 ve 1955). Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 1959 yılında Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, temsili akımlar yöntemi ile 105 adet gözlem istasyonu ve 1000 istasyon-yıl değeri kullanılarak 21,155 MW güç ve yıllık 185 TWh enerji hesaplanmıştır. DSİ tarafından 1960 yılında Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli,

temsili akımlar yöntemi ile 102 adet gözlem istasyonu ve 1100 istasyon-yıl değeri kullanılarak 20,300 MW güç ve yıllık 177 TWh enerji hesaplanmıştır.

Öziş (1961) tarafından Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, HE yöntemi ile 98 adet gözlem istasyonu ve 900 istasyon-yıl değeri kullanılarak 56,889 MW güç ve yıllık 498 TWh enerji hesaplanmıştır. DSİ (1965) tarafından Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, 229 adet gözlem istasyonu ve 1700 istasyon-yıl değeri kullanılarak, DA diyagramları yöntemine göre 49,417 MW güç ve yıllık 433 TWh enerji ve HE yöntemine göre ise 50,997 MW güç ve yıllık 447 TWh enerji miktarı hesaplanmıştır. Öziş (1966) tarafından Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, 518 adet gözlem istasyonu ve 3000 istasyon-yıl değeri kullanılarak, DA diyagramları yöntemine göre 49,800 MW güç ve yıllık 436 TWh enerji ve HE yöntemine göre ise 51,271 MW güç ve yıllık 449 TWh enerji miktarı hesaplanmıştır. Contürk ve Bayar (1969) tarafından Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, HE yöntemi ile 560 adet gözlem istasyonu ve 3500 istasyon-yıl değeri kullanılarak 59,236 MW güç ve yıllık 519 TWh enerji hesaplanmıştır. Öziş (1971) tarafından Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, DA diyagramları yöntemi ile 660 adet gözlem istasyonu ve 4300 istasyon-yıl değeri kullanılarak 49,240 MW güç ve yıllık 431 TWh enerji hesaplanmıştır. Erke (1978) tarafından Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, DA diyagramları yöntemi ile 51,978 MW güç ve yıllık 455 TWh enerji hesaplanmıştır. Öziş ve diğ. (1985) tarafından Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, DA diyagramları yöntemi ile 49,417 MW güç ve yıllık 433 TWh enerji hesaplanmıştır. Baran ve diğ. (1987) tarafından Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyelini yine DA diyagramları, temsili akımlar ve hipsografik eğriler yöntemi ile belirlemiştir. Çalışmada, hidroelektrik potansiyelin saptanmasında en tutarlı yöntemin, yeterli veri olması durumunda DA diyagramları yöntemi olduğu belirtilmiştir. 1467 adet akım gözlem istasyonu ve 13,368 istasyon-yıl değerlerinden yararlanılarak 50,428 MW güç miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca aynı çalışmada, Ceyhan Havzası brüt su potansiyeli belirlenmesinde kullanılan DA diyagramları grafik şeklinde gösterilmiştir (Şekil 5.1). Baran ve diğ. (2006) tarafından Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyeli, 1981-2000 yılları arasında meydana gelen akışlılık değişimleri dikkate alınarak 49,635 MW güç ve yıllık 434.8 TWh enerji hesaplanmıştır. Alterach ve diğ. (2008a, b) tarafından İtalya'nın maksimum hidroelektrik potansiyelini (brüt) belirlemek üzere VAPIDRO-ASTE adında GIS (Cografik Bilgi Sistemi) bilgisayar yazılımı ile

bütünleşik, Visual Basic dilinde yazılmış sayısal bir araç kutusu geliştirilmiştir. Cuya ve diğ. (2011) tarafından Güney Amerika'nın ikinci en büyük havzası olan La Plata havzasında GIS yazılımı ile bütünleşik VAPIDRO-ASTE araç kutusu kullanılarak maksimum hidroelektrik potansiyeli (brüt) 132 MW güç ve yıllık 686 GWh enerji miktarı hesaplanmıştır. VAPIDRO-ASTE araç kutusu ile ölçüm istasyonlarından alınan ortalama debi ve yükseklik değerleri nehir üzerinde dağıtılarak, HE yöntemine göre maksimum hidroelektrik potansiyel belirlenmiştir. Bu tez kapsamında geliştirilen Enerji Ağacı (EA) yöntemi, deneme mahiyetinde Murat, Öoruh, Kızılırmak ve ABD'nin Hudson nehirleri hidroelektrik enerji potansiyelini belirlemek üzere kullanılmıştır. Alashan ve diğ. (2013, 2015, 2016) tarafından çalışmanın sonuçları tartışılmış ve yeni yöntemin düşü-akım ve HE yöntemine göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür.

2.3 Sentetik Seri Üretme Çalışmaları

Bu çalışmada, EA yöntemi, özellikle istasyonların ve dolayısıyla ölçülmüş verilerin yetersiz olduğu akarsu havzaları için geçerlilik ve verimini belirlemek için sentetik verilere de uygulanmıştır. Bunun için önce ölçülmüş verilerin hangi ihtimal dağılımına uyduğu tespit edilmiş, daha sonra uygun olan tekniklerle sentetik veriler üretilmiştir. Bu alt başlık altında veri üretme teknikleri güncel literatür kapsamında tartışılmış ve en uygun teknikler tespit edilmiştir.

Sentetik seri üretimi ile alakalı olarak literatürde, Yapı ve diğ. (1993) Arizona'daki Salt nehrinin ve Oklahoma'daki Bird çayının taşkın tahminlerini belirlemek için Markov zincirlerini kullanmıştır. Şahin ve Şen (2001) Türkiye'nin kuzeydoğu bölgesindeki saatlik rüzgâr hızları için birinci dereceden Markov zincirlerini kullanarak sentetik seriler üretmiştir. Bayazıt ve diğ. (2001) dalgacık ve fourier analiz yöntemlerini Manavgat çayı akımları için sentetik seriler üretmiştir. Bayazıt ve Aksoy (2001) Şeytan deresi ve Mississippi nehri (Amerika) akışları için dalgacık yöntemini kullanarak sentetik seriler üretmiştir. Aksoy (2003) Şeytan deresi (Kırklareli) ve Culap suyu (Fırat nehri) kuruyan akarsularının günlük akışları için Markov zinciri destekli modelleme tekniklerini kullanmıştır. Aksoy ve diğ. (2004) Diyarbakır ilinin saatlik ortalama rüzgâr hızları için normal ve Weibull dağılımı, 1. derece Markov modeli (AR1, 1. order autoregressive), 2. derece Markov modeli (AR2, 2nd order autoregressive), Markov zincirleri ve dalgacık yöntemlerini kullanarak sentetik seriler üretmiştir. Shamsad ve diğ. (2005) Malezya'da bulunan

Mersing ve Kuantan meteoroloji istasyonlarının saatlik rüzgâr hızları için birinci ve ikinci dereceden Markov modellerini kullanarak sentetik seriler üretmiştir. Wang ve diğ. (2011) Jinsha nehri (Çin) günlük akışları için dalgacık dönüşüm metodunu kullanarak sentetik seriler üretmiştir. Kişi ve Partal (2011) Yeşilırmak ve Hurman (Ceyhan havzası) nehirleri aylık ortalama akımları için dalgacık ve fuzzy bütünleşik modelini akım tahmini için kullanmıştır. Santos ve Silva (2014) Sao Francisco (Brezilya) nehri günlük akışlarının tahmini için dalgacık dönüşüm ve yapay sinir ağları (YSA) bütünleşik yöntem uygulamıştır. Yukarıda anılan çalışmaların sonuçlarından genelde sentetik veri ve özelde sentetik akım verileri üretimi için en uygun tekniklerinin, Markov zincirleri, dalgacık ve fourier analizi, normal ve Weibull dağılımı, 1. derece Markov modeli (AR1), 2. derece Markov modeli (AR2), dalgacık dönüşüm, dalgacık ve fuzzy bütünleşik ve YSA bütünleşik yöntemleri olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada bu yüzden verilerin uyduğu, dağılım da dikkate alınarak ölçülmüş verilerin sayıca az olduğu istasyonlar için log-normal dağılım, Markov ve dalgacık yöntemleri ile her bir istasyon için aynı uzunlukta 1000 adet sentetik seri üretilmiştir.

2.4 İklim Değişikliği İle Alakalı Çalışmalar

Bilindiği üzere iklim değişikliğinin tüm sektörler üzerinde etkisi olduğu gibi özellikle enerji sektörü üzerindeki etkisi çok daha fazladır. Bunun nedeni, mevcut bazı enerji kaynaklarının (sera etkili gazları üreten kaynaklar) iklim değişikliğini tetiklemesi ve iklim değişikliğinin hidroelektrik enerji kaynağı olan su kaynakları üzerindeki etkisidir. Dolayısıyla hem sera etkili gaz emisyonunun iklim değişikliği üzerindeki etkisini hem de iklim değişikliğinin temiz ve sürdürülebilir enerji kaynağı olarak hidrolik enerji üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla bu alt başlık altında iklim değişikliği üzerindeki güncel literatür tartışılmıştır.

Toprak (2013) küresel iklim değişikliği üzerinde şu tespitlerde bulunmaktadır: “Konuya ilişkin literatürde çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur. Küresel iklim değişikliği, ısınmanın yanı sıra, yağış, sıcaklık, basınç, rüzgâr, hortum, sel, fırtına, deniz suyu seviyesinde ve tatlı su depoları olan buzul ve kar kalınlıklarındaki değişimler v.b. anormal meteorolojik ve hidrolojik olaylara neden olduğu söylenebilir. Hal böyle olunca, küresel boyutta enerjiden tarıma, ekonomiden sağlığa tüm sektörleri etkilediği ifade edilebilir. Neticede bu küresel problem en ince

ayrıntlarına varıncaya kadar küresel boyutta, öncelikle bilim insanları arasında, daha sonra politikacılar, iş adamları, çevreciler, sivil toplum örgütleri ve halka varıncaya kadar tüm toplum kesimleri arasında tartışılmaya başlanmıştır. Problem, gündeme getirildiği hali ile yaşam ve varlık ortamını olumsuz yönde etkilediği için tüm sektörleri ve bağlı olarak temsilcilerini yakından ilgilendirmektedir. Küresel düzeyde tüm sektörler arasında bütün yönleri ile bu denli tartışılması da bu yüzdendir.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelleri (IPCC), Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) bu tartışmaların sonucunda ortaya çıkmıştır. Konuya ilişkin bilimsel çalışmalar problemin etkisi ve sonuçları itibari ile tatlı su, kuraklık, taşkın, tuzlanma, su yönetimi, çevre, sağlık, orman, deniz suyu seviyesi, buz ve kar kalınlıkları, enerji, politika gibi A'dan Z'ye tüm yaşam kesitleri üzerinde yapıldığı görülmektedir. IPCC (2007) raporuna göre Güney Akdeniz ve Ortadoğu bölgelerinde sıcaklıklarda artış, yağışlarda düşüş ve bağlı olarak su kıtlığı, kuraklık, taşkınlar, bitki örtüsünde değişim beklenmektedir. Çalışmaların sayıca çok fazla olması nedeniyle burada bunları tek tek ele almak yerine, gruplandırarak vermek mümkündür. Yapılan çalışmalar 1990 yılından önce daha çok problemin tanımlandığı, konuya ilişkin ilk bilgilerin verildiği, bazı karakutu modellerle olası nedenleri, etkileri ve sonuçları üzerinde odaklanmıştır. Diğer taraftan, 1990 – 2000 yılları arasında yapılan çalışmalar ise daha çok enerji, su kaynakları, gıda güvenliği, tarım gibi farklı sektörler üzerindeki etkilerine yöneliktir. 2000 yılından sonraki çalışmalarda ise “niçin”, “nasıl” ve “ne kadar” sorularına daha gerçekçi, bilimsel olarak daha ayrıntılı, yorumlayıcı ve sorgulayıcı şekilde cevap aranmaktadır. Bu bağlamda, sorunu çözmeye yönelik girişimlerde bulunmak üzere Kyoto Protokolü ve IPCC gibi ulusal ve uluslar arası düzeyde kurumlar kurulmuştur.

Konuya ilişkin araştırma yapan araştırmacıların büyük bir çoğunluğu bu soruya cevap olarak yeryüzünün ısınmakta olduğunu söylemektedir. Dolayısıyla ilgili çalışmaların hemen hemen %90'ı küresel iklim değişikliğine kanıt ileri sürmektedir. Kyoto Protokolü ve IPCC de bu görüş doğrultusunda kurulmuşlardır.

IPCC raporları küresel iklim değişikliğinin varlığına, bunun %98 insan kaynaklı olduğuna ve rapor ettiği senaryolara göre etkilerinin çok ciddi olduğuna dair iddialar ileri sürerek bu iddiaları doğrular nitelikte kanıtlar göstermektedir. Bunun sonucu olarak Kyoto Protokolü ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) söz konusu olmuş ve 191 ülke hâlihazırda Kyoto Protokolü'ne imza

atmıştır. Bütün bunlara rağmen “niçin”, “nasıl” ve “ne kadar” sorularının cevabında bilim insanları aynı birliktelik içinde olmadığı görülmektedir. En azından küresel iklim değişikliğinin varlığı konusunda olduğu kadar bir ittifak görülmemektedir.

Problemin çözülmesi gerektiği konusunda da tıpkı problemin varlığı konusunda olduğu gibi hem bilim insanları hem de birkaç ülke dışında politikacılar arasında neredeyse tam bir ittifak mevcuttur. Zira IPCC, UNFCCC ve Kyoto Protokolü bu ittifakın birer sonucu olarak görülebilir. Çözüm yöntemleri konusunda da tıpkı küresel iklim değişikliğinin neden ve sonuçlarında olduğu gibi tam bir ittifak görülmemektedir. Çözüme ilişkin bakışlar aşağıdaki gibi iki ana sınıfta toplanabilir:

- 1) Atmosferdeki sera gazları oranının düşürülmesi,
- 2) Gezegenin yeni koşullarına ayak uydurulması (adaptasyon sağlanması).

Bunlardan birinci görüş, küresel iklim değişikliğinin neden ve sonuçları ile günümüzde yansıtıldığı gibi olduğuna inanan çevrelerin görüşü olarak değerlendirilebilir. İkinci görüş ise küresel iklim değişikliğinin neden ve sonuçları konusunda şüphesi olan çevrelerin görüşü olarak kabul edilebilir. Bunlara göre bu durum bir periyottan kaynaklanıyor ise adaptasyondan başka bir çözüm olamamaktadır. İster problem yansıtıldığı gibi olsun ister buna inanılmasın, başka bir ifade ile ister problem olsun veya olmasın, dile getirilen her küresel veya bölgesel problemin gerisinde bazı çıkar çevrelerinin olduğu yönünde de son zamanlarda kanaatler artmaktadır. Küresel iklim değişikliğinin de arkasında veya bunun sonucunda küresel veya lokal çıkar çevrelerinin olması ihtimali küresel iklim değişikliğinin olmadığı, sıfırdan icat edilip büyütüldüğü anlamına gelmemektedir. Tıpkı meydana gelmiş ve sonuçları yaşanmış savaş, deprem, sel, tsunami, hortum ve benzeri yapay veya doğal afetlerden sonra bunlardan çıkar sağlayarak bazı kimselerin zenginleşmesi gibi. Bununla birlikte problemin bu denli büyütülmesi bazı çıkar çevrelerinin daha çok işine gelmektedir. Bu durumda bilim insanlarının daha objektif, daha tarafsız ve daha gerçekçi bir şekilde tüm yaşam sektörleri arasında köprü görevini görmesi ve konuya ilişkin tüm kaynakları (istisna etmeksizin) sorgulayarak değerlendirilmesi gerektiği söylenebilir.”

Konuya ilişkin yukarıda verilen literatürden de kolayca anlaşılacağı üzere küresel iklim değişikliğinin su kaynakları ve buzullar üzerinde fazlaca olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Literatürde bu durumu tüm detayları ile ortaya koymaya

alışan birçok çalışma mevcuttur. Mendelssohn ve Dinar (2009), Thompson (2010), Buyukyildiz ve diğ. (2009), Kickert ve Krupa (1990), Schwartz (1992), Fields ve diğ. (1993), Davis ve diğ. (2010), Culley ve Angelique (2010) ve Grasso ve diğ. (2011) rnek olarak verilebilir. Bunun yanı sıra özel olarak hidroelektrik potansiyelini belirleyen (Coşkun ve diğ., 2010; Alashan ve diğ., 2015; Toprak ve diğ., 2009) ve bu potansiyel üzerinde iklim değişikliğinin etkisini araştıran birçok çalışma yapılmıştır (Harrison ve Whittington, 2002a, b; Lehnery ve diğ., 2005; Madani ve Lund, 2010; Vicuņa ve diğ., 2011; Carless ve Whitehead, 2013; Jamali ve diğ., 2013; Madani ve diğ., 2014).

nc bölümde iklim değişikliğinin Murat, Çoruh, Kızılırmak ve ABD'den Hudson nehirleri su gücü potansiyeline etkisi daha detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu etki iklim değişikliğinin gidişine (trendine) bağlı olarak değişmektedir. İklime değişikliği ile alakalı çalışmalarda IPCC tarafından yayınlanan iklim değişikliği senaryoları kullanılmaktadır. İklime değişikliği gidiş (trend) analizleri ve hesaplamaları için ise genellikle Mann-Kendall ve Spearman Rho gibi testler kullanılarak yapılmaktadır (şen, 2012). Söz konusu yöntemler verilerin normal dağılması, yeterli veri uzunluğu, örnek varyansının sabit kalması gibi birçok varsayım gerektirmektedir. Yukarıda da belirtildiği üzere literatürde konuya ilişkin birçok yöntem olmakla birlikte burada görece daha yeni ve daha kullanışlı bir yöntem olan Yenilikçi Yönelim Analiz Yöntemi (şen, 2012ITAM) kullanılmıştır. Bu yöntem, iklim değişikliğinin su kalitesi, taşkın, kuraklık ve benzeri durumlar üzerindeki etkisini pratik ve başarılı bir şekilde inceleme imkanını sağlamaktadır (şen, 2012, Timbadiya ve diğ., 2013; Sonali ve Kumar, 2013; Kişi ve Ay, 2014; Marcus ve diğ., 2014). Söz konusu yöntem başlangıç kabulleri ve gelişmiş bilgisayar programları kullanılmasını gerektirmeyen ve kolay uygulanan bir yöntemdir.

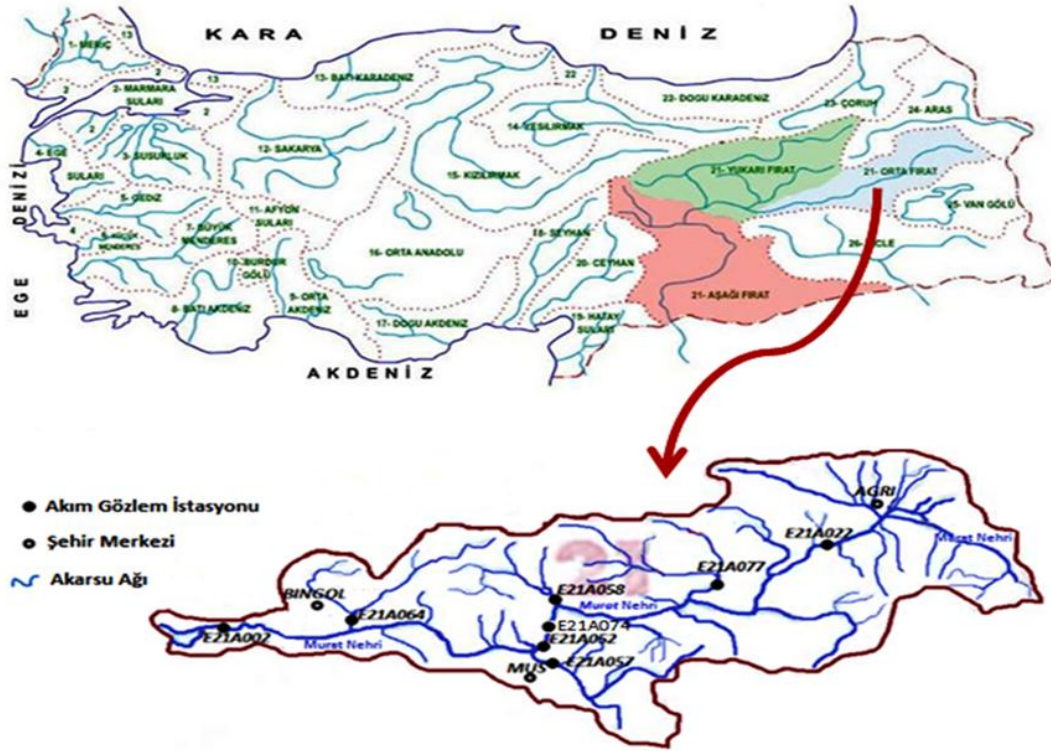
3. ÇALIŞMA ALANI

Bu tez çalışması kapsamında Türkiye üzerinde yer alan Murat, Yukarı Fırat, Çoruh, Kızılırmak nehirleri ile Amerika üzerinde Hudson Nehri çalışma alanı olarak seçilmiştir. Murat Nehri esas çalışma alanı olarak belirlendiğinden söz konusu nehir havzası ile alakalı daha detaylı bilgiler verilmektedir. Yukarı Fırat, Çoruh, Kızılırmak ve Hudson nehirleri yardımcı çalışma havzaları olarak seçilmiş ve yöntemin farklı bölgelerde test edilmesine olanak sağlamıştır.

3.1 Murat Nehri

3.1.1 Coğrafi konum

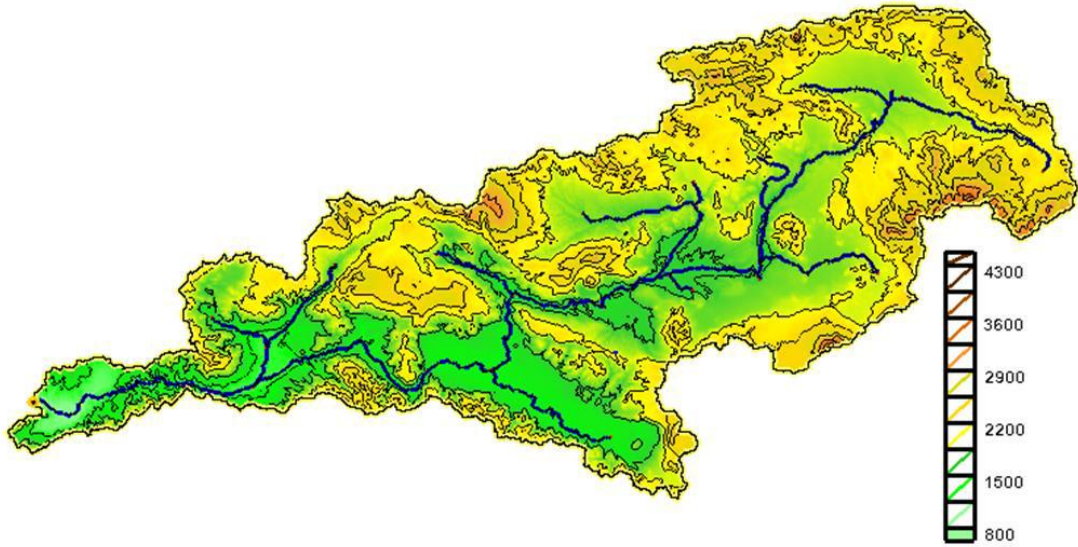
Su, tarih boyunca Fırat-Dicle bölgesinde, özellikle Fırat ve Dicle nehirleri arasında verimli topraklara sahip Mezopotamya'nın medeniyetleşmesi hususunda merkezi rol oynamıştır (Bozkurt, D. and Şen Ö.L., 2013). Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde bulunan Murat Nehri yeni yöntemi test etmek için çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 3.1). Fırat Nehri'nin tâli kollarından biri olan Murat Nehri, Doğu Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Murat Nehri, Ağrı ilinden başlayıp Elazığ ilinin Palu ilçesi civarında Keban barajına dökülmektedir. Murat Nehir Havzası sınırları içinde ana kollara bağlı Göynük, Karasu, Bingöl ve Hınıs çayı bulunmaktadır.



Şekil 3.1 : Murat Nehir Havzası.

3.1.2 Havza topoğrafyası

Havzadaki doruklar deniz seviyesinden 3,000-4,000 metreleri bulurken, havzanın aşağı bölümlerinde yer alan vadi tabanları 850-1,000 m yükseklikleri arasında uzanmaktadır (Şekil 3.2). Bu nispi yükseklik farkı tektonizma, volkanizma ve akarsuların hızlı bir şekilde gömülmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Ova taban eğimleri % 5'den düşük sahalar 7,156 km²'lik alanda görülürler. Murat Nehri Havzası'nda eğim değerleri % 5-15 arasındaki alanlar 10,406 km²'lik geniş bir alana karşılık gelmektedirler. Bunun sebebi, sahada lavların ortaya çıkardığı düzlüklerin geniş alanlara karşılık gelmesidir. İkinci yaygın grup ise 7,946 km²'lik yayılımı ile eğim değeri %15-30 sahip alanlardır. Bu eğim grubu, 348 km²'lik sahada görülen ve eğimi %40'dan fazla olan sahadaki dik yamaçlara, fay dikliklerine ve kornişlere karşılık gelen sahaları çıkardığımızda geri kalan yamaçlar karşılamaktadır. Havza toplam alanı 28,856 km²'dir (Güneş, 2006). Bu durum havzanın yüksek hidroelektrik potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.2 : Murat Nehri dijital yükseklik haritası.

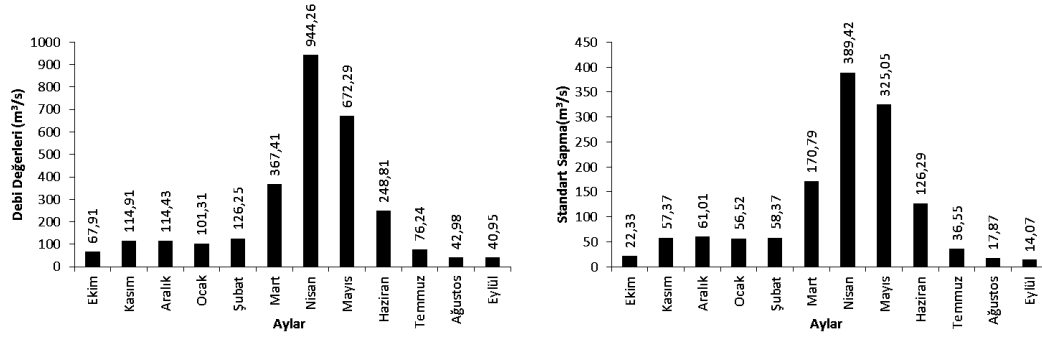
3.1.3 Akım gözlem istasyonları ve çalışmada kullanılan veriler

Murat nehri üzerindeki akım gözlem istasyonları Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİEİ) tarafından işletilmektedir. Havza alanında akım gözlem istasyonlarının seyrek dağılımı Şekil 3.1 üzerinde görülmektedir. Özellikle, birçok yan kol üzerinde, uzun yıllar akım gözlem değerlerine sahip istasyon mevcut değildir. Bundan dolayı yan kollar üzerinde hidroelektrik potansiyelini hassas bir şekilde hesaplamak mümkün değildir. Murat Nehri havzasında ölçülmüş akım gözlem değerleri 10 yılın üstünde olan E21A002, E21A052, E21A022 E21A064, E21A057, E21A058 ve E21A077 nolu istasyonlar bulunmaktadır. Bu istasyonlar ile alakalı istatistiksel bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir. BU çizelgede, A, havza alanı, Q, ortalama debi, σ , standart sapma, C_s , çarpıklık ve C_v , değişim katsayısını ifade etmektedir.

Çizelge 3.1 : Murat Nehri akım gözlem istasyonlarına ait istatistik bilgiler.

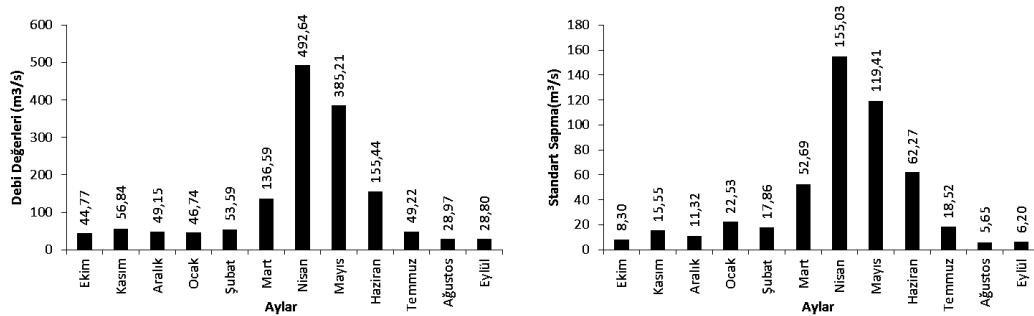
İstasyon No	A (km ²)	Ölçüm Aralığı	Q _{ort} (m ³ /s)	σ (m ³ /s)	(C _s)	(C _v)
E21A002	25,515	1968-2011	243.15	79.18	0.94	0.33
E21A052	17,773	1970-1983	127.33	27.37	0.56	0.21
E21A022	5,882	1969-2011	48.54	20.27	0.45	0.42
E21A064	2,232	1970-2011	32.82	9.51	0.46	0.29
E21A057	2,098	1969-2007	24.85	9.53	0.63	0.38
E21A058	1,577	1969-2013	18.12	4.63	0.79	0.26
E21A077	2,995	1986-2000	32.81	11.54	0.19	0.35

E21A002 nolu istasyon Murat Nehri ana kol üzerinde Elazığ'ın Palu ilçesinde bulunmaktadır ve deniz seviyesinden 859 m yüksekliğe sahiptir. Şekil 3.3 üzerinde söz konusu istasyonun yıllık ortalama debisi için ortalama ve standart sapma değerlerinin aylık değişimi gösterilmektedir.



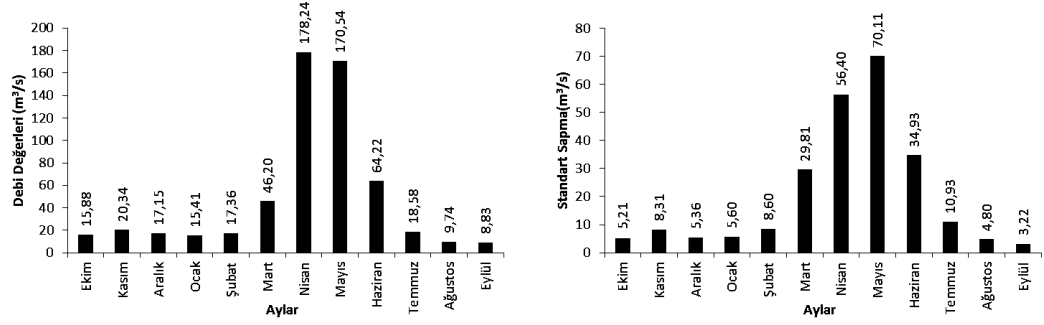
Şekil 3.3 : E21A002 nolu istasyonun aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.

E21A052 nolu istasyon Murat Nehri ana kol üzerinde, Muş iline 18 km uzaklıkta bulunmaktadır. Deniz seviyesinden yaklaşık 1,241 m yüksekliktedir. Şekil 3.4 üzerinde söz konusu istasyonun yıllık ortalama debisi için ortalama ve standart sapma değerlerinin aylık değişimi gösterilmektedir.



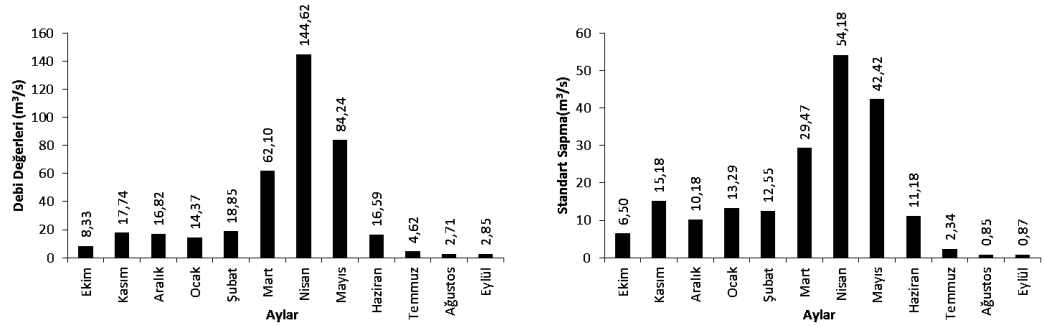
Şekil 3.4 : E21A052 nolu istasyonun aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.

E21A022 nolu istasyon Murat Nehri ana kol üzerinde Ağrı iline ait Tutak ilçesinde bulunmaktadır. Yaklaşık olarak deniz seviyesinden 1,552 m yüksekliktedir. 1963 ve 1968 yılı akım değerleri mevcut değildir. Şekil 3.5 üzerinde söz konusu istasyonun yıllık ortalama debisi için ortalama ve standart sapma değerlerinin aylık değişimi gösterilmektedir.



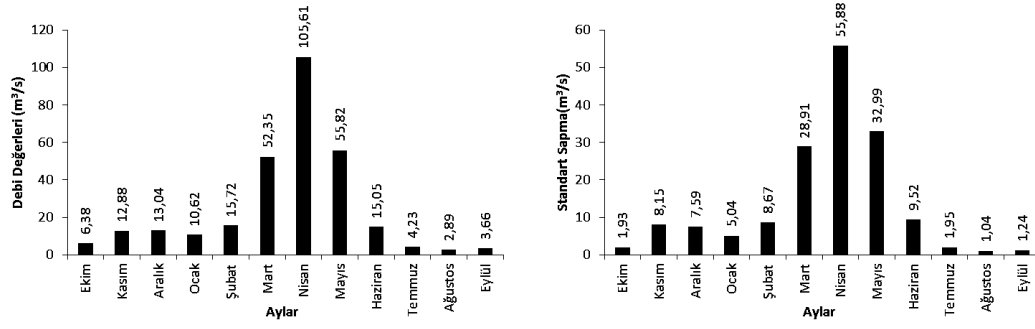
Şekil 3.5 : E21A022 nolu istasyon aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.

E21A064 nolu istasyon Murat Nehri'nin yan kolu olan Göynük çayı üzerinde Bingöl ilinin Çayağzı köyünde bulunmaktadır. Deniz seviyesinden olan yüksekliği yaklaşık 998 m'dir. Şekil 3.6 üzerinde söz konusu istasyonun yıllık ortalama debisi için ortalama ve standart sapma değerlerinin aylık değişimi gösterilmektedir.



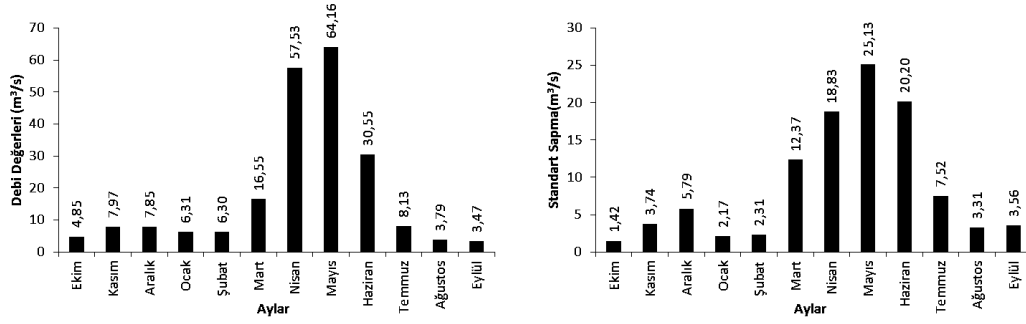
Şekil 3.6 : E21A064 nolu istasyon aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.

E21A057 nolu istasyon Murat Nehri'nin yan kolu olan Karasu çayı üzerinde Muş ilinde bulunmaktadır. Şekil 3.7 üzerinde söz konusu istasyonun yıllık ortalama debisi için ortalama ve standart sapma değerlerinin aylık değişimi gösterilmektedir.



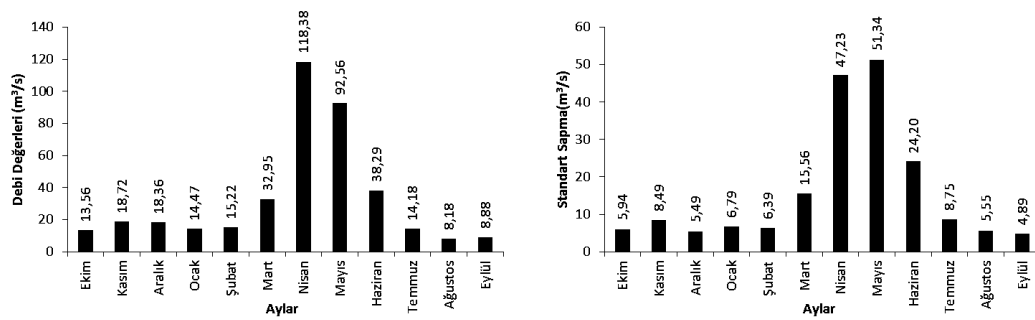
Şekil 3.7 : E21A057 nolu istasyon aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.

E21A058 nolu istasyon Murat Nehri'nin yan kolu olan Bingöl çayı üzerinde Muş ilinin Bulanık ilçesinde bulunmaktadır. Deniz seviyesinden olan ortalama yükseklik 1,310 m kadardır. Şekil 3.8 üzerinde söz konusu istasyonun yıllık ortalama debisi için ortalama ve standart sapma değerlerinin aylık değişimi gösterilmektedir.



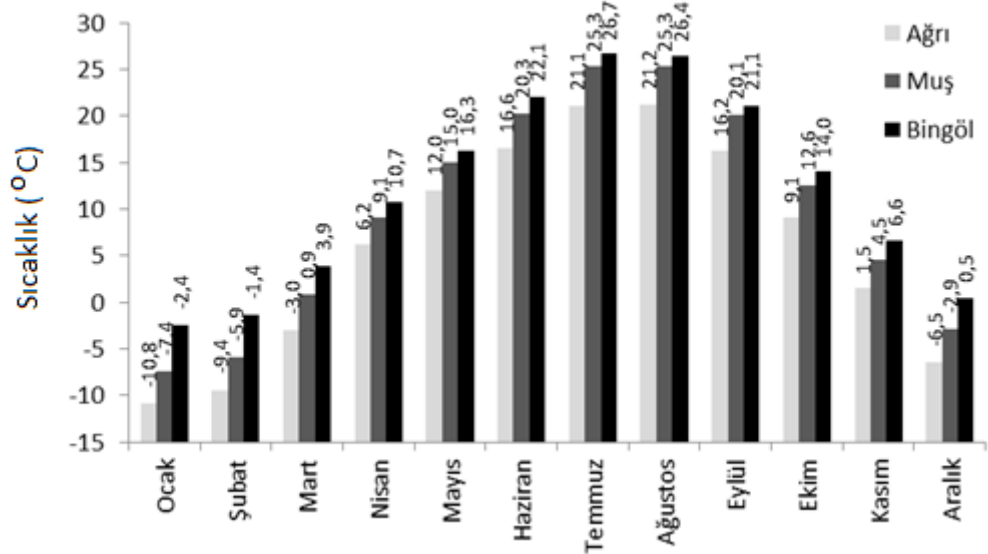
Şekil 3.8 : E21A058 nolu istasyon aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.

E21A077 nolu istasyon Murat Nehri'nin yan kolu olan Hınıs çayı üzerinde Muş ilinin Adıvar köyünde bulunmaktadır. Deniz seviyesinden Yaklaşık 1,452 m yükseklikteir. Şekil 3.9 üzerinde söz konusu istasyonun yıllık ortalama debisi için ortalama ve standart sapma değerlerinin aylık değişimi gösterilmektedir.

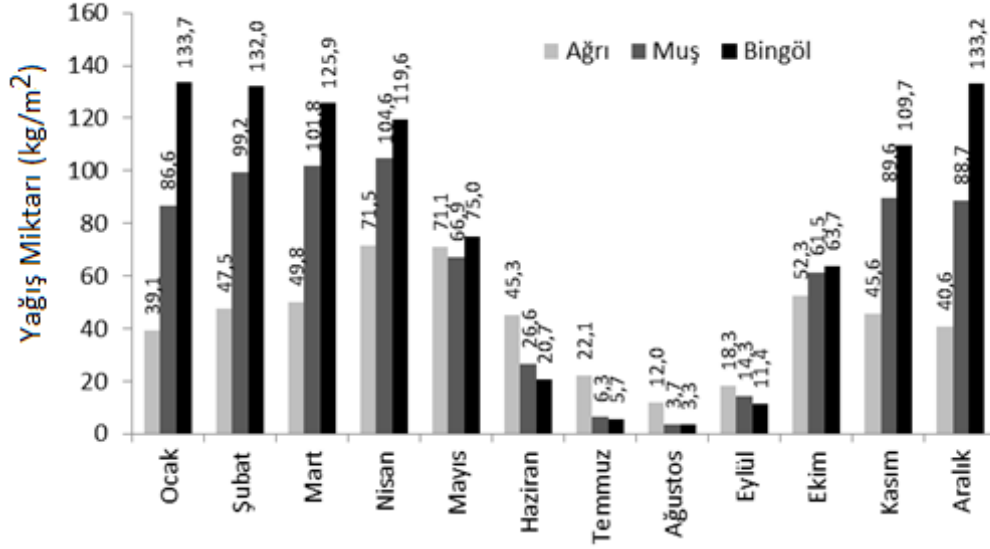


Şekil 3.9 : E21A077 nolu istasyon aylık ortalama debi ve standart sapma grafiği.

Murat Nehir havzasında bulunan akım gözlem istasyonlarına ait grafikler incelendiğinde yıl içinde en yüksek debilerin Nisan ayında meydana geldiği gözlenmiştir. Ancak, Nisan ve Mayıs ayları arasındaki debi farklılıklarının Bingöl (E21A002), Muş (E21A052) ve Ağrı (E21A022) illerine doğru azaldığı gözlenmiştir. Meteoroloji gözlem istasyonlarının umuma açık resmi internet sitesindeki sıcaklık ve yağış verileri incelendiğinde, bu durum için temel olarak iki faktörün rol oynadığı düşünülmektedir. Birincisi ortalama sıcaklık verilerinin (Meteoroloji Gözlem Müdürlüğü) Bingöl, Muş ve Ağrı iline doğru azalması (Şekil 3.10) ve dolayısıyla ilkbaharda meydana gelen kar yağışlarının erimesinin zamansal olarak önce Bingöl, sonra Muş ve daha sonra Ağrı ilinde meydana gelmesidir. İkinci olarak, Nisan ve Mayıs ayları arasında Bingöl ve Muş illerinde yağış miktarının azalmasına karşılık, Ağrı ilinin yağış miktarının yaklaşık sabit kalmasıdır (Şekil 3.11). Ayrıca standart sapma verileri incelendiğinde, Bingöl (E21A002) ve Muş (E21A052) illerinde en büyük sapmalar Nisan ayında meydana gelirken, Ağrı (E21A022) ilinde en büyük sapma Mayıs ayında meydana gelmiştir. Bu durum diğer iki ilden farklı olarak, Ağrı ili için sıcaklık gibi sürekli faktörlerin yanında yağış gibi kesikli faktörlerin etkili olduğunu düşündürmektedir. Yağış olayının debi artışına iki türlü katkısı olduğu düşünülmüş, birincisi doğrudan doğruya suyun miktar olarak debiyi artırması ve ikincisi yağan yağmur suyunun sıcaklığının karı eriterek debiyi artırmasıdır. Sıcaklık ve yağış farklılıklarının oluşumunda ana etkenlerden biri yükseltidir. Yükselti Ağrı ilinde en yüksek, sonra Muş ve Bingöl illeri gelmektedir.



Şekil 3.10 : Bingöl, Muş ve Ağrı illeri için aylık sıcaklık grafiği.



Şekil 3.11 : Bingöl, Muş ve Ağrı illeri için aylık yağış grafiği.

3.1.4 Hidroelektrik Tesisler

Murat nehir havzasında Ağrı, Muş ve Bingöl olmak üzere üç adet şehir merkezi vardır. Nehir havzası içinde enerji maksatlı olarak işletme halinde, Muş ili sınırlarında 160 MW kurulu gücünde ve yıllık üretimi 488 GWh olan Alpaslan 1 Barajı bulunmaktadır. Bingöl ili sınırları içinde 140 MW kurulu gücünde ve yıllık üretimi 450 GWh olan Kığı Barajı ve 170 MW kurulu gücünde ve yıllık üretimi 413 GWh olan Özlüce Barajı mevcuttur. Ayrıca, ilk etüdü yapılmış, Bingöl sınırları içinde 20 MW kurulu gücünde ve 84 GWh yıllık üretim kapasitesinde Palu Barajı, 300 MW gücünde ve 1,435 GWh yıllık üretim kapasitesinde Beyhan Barajı, 293 MW kurulu gücünde ve 1,293 GWh yıllık üretim kapasitesinde Kaleköy Barajı planlanmaktadır.

3.2 İklim Değişikliği ve Murat Nehri Su Gücü Potansiyeline Etkisi

Dünya nüfusu dramatik bir şekilde artmaktadır. Birleşmiş Milletler raporuna göre 2007’de 6,7 milyar olan dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 2,5 milyar artarak 9,2 milyar olması ve söz konusu artışın büyük ölçüde az gelişmiş ülkelerde meydana gelmesi beklenmektedir (Toprak ve diğ., 2013). Bu artış nedeniyle hayati öneme sahip temel ihtiyaçların temininin gittikçe daha zor olacağı açıktır. Bu durum aynı zamanda, küresel boyutta enerjiye duyulan gereksinimin de yıldan yıla artacağı anlamına gelmektedir. Bu ihtiyacın giderilmesi için enerji üretimi de dramatik bir

şekilde artmaktadır. Ancak dünya genelinde hala enerji ihtiyacı büyük ölçüde fosil kökenli kaynaklardan giderilmektedir. Başka bir ifade ile hâlâ enerji tüketiminde yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının oranı düşüktür (Toprak, 2014).

Enerji üretimi için kullanılan fosil yakıtların toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine ve atmosferdeki sera etkili gazların artmasına neden olmaktadır. IPCC 2014 raporuna göre küresel iklim değişikliğinin %99 insan kaynaklı olduğu ve bunun atmosferde gittikçe artan sera gazlarında kaynaklandığı iddia etmektedir (IPCC, 2014). Bu iddianın çok abartılı olduğunu iddia eden bilimsel çevreler olmakla birlikte mevcut literatürün %90'ı küresel iklim değişikliğinin olduğuna dair kanıtlar ileri sürmektedir (Toprak ve diğ., 2013, 2012; Batan ve Toprak 2014, 2015). Bununla birlikte Toprak ve diğ. (2013), küresel iklim değişikliğinin olduğuna dair bilim insanlarının arasındaki ittifakın neden ve sonuçları üzerinde olmadığını ve fakat mavi gezegenin ısındığını belirtmektedir. Bu yüzden günümüzde küresel boyutta, doğa ile barışık yani temiz, ucuz, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Bu kaynaklar daha çok güneş, rüzgar, hidrolik, hidrojen, dalga enerjisi gibi enerjilerdir. Bu çalışmanın konusu olan hidrolik enerji üretimi için yeterli düşü ve debiye sahip su kaynaklarına ihtiyaç vardır. Düşü, havzanın topografik yapısı nedeniyle sabittir. Gerekli debi ise kısa vadede meteorolojik, uzun vadede ise iklimsel bir değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla suyun doğal akışındaki değişimler bir bölgenin hidroelektrik enerji potansiyelini doğrudan etkilemektedir. Buna doğaya yapılan yapay müdahaleler de eklenince suyun zamansal ve konumsal dağılımındaki heterojenliği daha da artmaktadır. Örneğin, yıllık yağışların 3/4'ü dünya nüfusunun 1/3'ü üzerine düşmektedir. Başka bir ifade ile dünya nüfusunun 2/3'ü tatlı suyun 1/4'ünden yararlanmaktadır (Aytek ve Toprak, 2001). Diğer taraftan su ihtiyacı gelişen teknolojiye ve artan nüfusa bağlı olarak çeşitlenerek artmaktadır. Yerkürede su miktarının sabit ve teknolojik olarak üretiminin veya arıtılmasının olanaksız olması nedeniyle özellikle az gelişmiş ülkelerde birçok bölgede su sıkıntısı veya su kıtlığı beklenmektedir. Şu an dünyanın birçok bölgesinde su ihtiyacı, temin edilenden çok çok fazladır. Bu yüzden hâlihazırda dünyanın birçok bölgesi ya su stresini ya da su kıtlığını yaşamaktadır. Su kaynaklarına olumsuz etki eden diğer önemli bir problem de su ticaretidir. Su satıcıları (su tüccarları) bir bölgenin suyunu alıp o bölgenin insanlarına satmaktadır. Bunun sonucu olarak insanlık, kendi suyunu başkasından satın almaya zorlanmaktadır. Bu yüzden su ticareti ve Dünya Su

Forumu küresel boyutta protesto edilmektedir. Küresel iklim değişikliği (KİD) dünya su kaynaklarını tehdit eden diğer bir ciddi problemdir. KİD'in tüm yaşam sektörleri üzerinde olduğu gibi hidrolik enerji sektörü üzerinde de büyük etkisi vardır. Bu yüzden “efektif su kullanımı” son 20 yıldır gerek bilim insanları, gerek politikacılar, sivil toplum örgütleri ve diğer tüm toplum kesimleri arasında büyük bir ciddiyetle tartışılmaktadır (Toprak ve diğ., 2013, 2012; Songur ve diğ., 2013, 2012). Suya dair bir an önce çözülmesi gereken üç ana problemten söz edilebilir. Bunlar;

- Tatlı su potansiyelinin doğru bir şekilde belirlenmesi,
- Suyun efektif bir şekilde kullanılmasının sağlanması,
- İçme/kullanma ve sulama suyu sistemlerindeki kayıp ve kaçakların önlenmesi.

Yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü su kaynaklarında meydana gelen değişiklikler dolaylı olarak her hangi bir bölgenin su gücü potansiyelinde değişimler meydana getirecektir. Su gücü potansiyelinde meydana gelen değişimler hacimsel ve zamansal olarak değişmektedir. Hacimsel değişimler su gücü kaynak potansiyelini etkilerken zamansal değişim su gücü potansiyelinin zaman içindeki mevcudiyetini değiştirmektedir.

Çalışmada yenilikçi yönelim analiz yöntemi (ITAM) veya orijinal adı ile innovative trend analysis methodology, Murat nehir havzasında yeterli ölçüm değerleri bulunan tüm istasyonların yıllık ortalama verilerine uygulanmış ve anılan yöntem ile Murat Nehri'nin su gücü potansiyeli belirlenmiştir. Bu kapsamda Murat Nehri akışlarında dolayısıyla su gücü miktarında meydana gelen önemli zamansal değişimler ve kısmen de hacimsel değişimler belirlenmiştir.

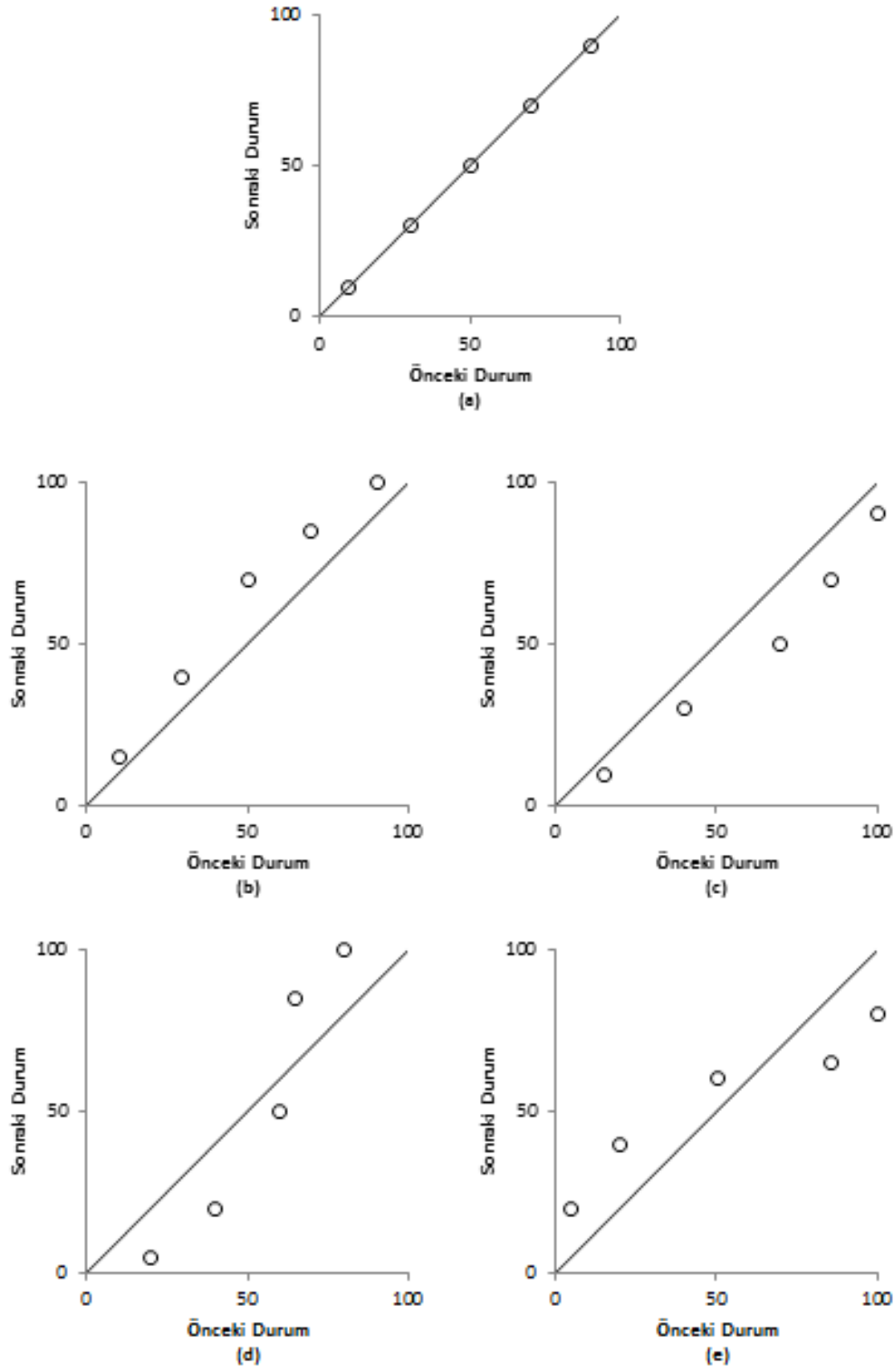
Şen tarafından (2012) iklimsel değişimleri incelemek üzere ITAM literatüre kazandırılmıştır. Yenilikçi Yönelim (Gidiş, trend) Analiz Yöntemi, ardışık zaman grupları arasındaki değişimleri incelemeye yarayan bir yaklaşımdır. Söz konusu yöntemde veriler belli sayıda veri gruplarına ayrılarak, sıralı veri grupları grafik eksenlerine yerleştirilerek 45° düz çizgi ile kıyaslanmaktadır. Bilindiği üzere aynı veri grupları grafiğin yatay ve düşey eksenlerine yerleştirilirse veri noktaları 45° düz çizgi üzerinde sıralanırlar (Şekil 3.12a). 45° düz çizginin üstünde artan gidiş ve altında kalan durum ise azalan gidişi göstermektedir (Şekil 3.12b, c). Şekil 3.12b, c

tek düzenli gidişleri göstermektedir. Eğer veri grupları arasında çok düzenli bir gidiş varsa artan gidiş Şekil 3.12d ve azalan gidiş Şekil 3.12e ile gösterilebilir.

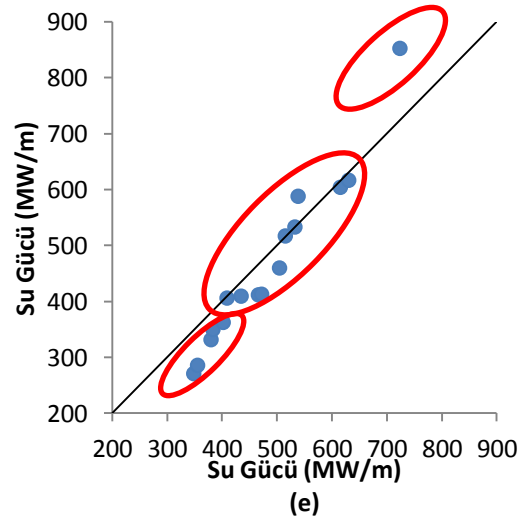
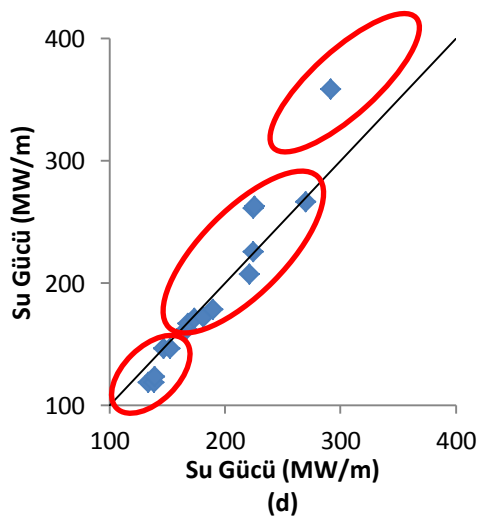
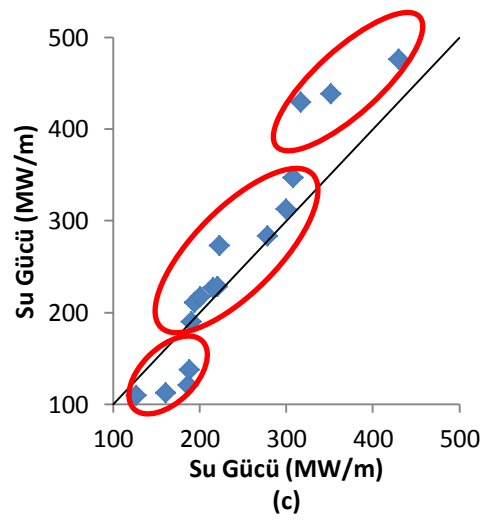
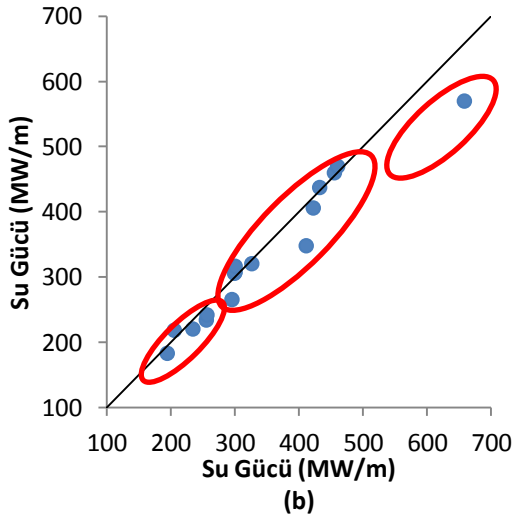
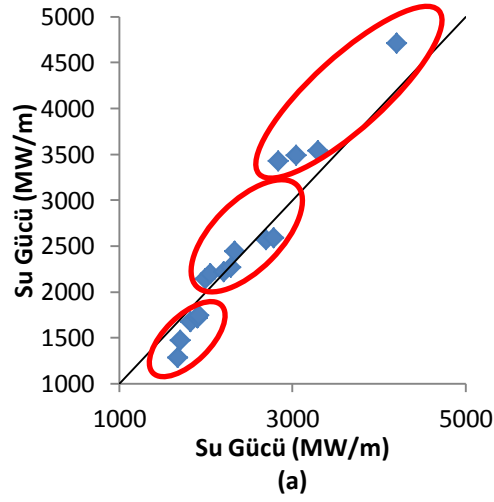
Mühendislik uygulamalarında çoğu kez %100 doğru tahminlerde bulunan bir model geliştirmek mümkün değildir (Toprak, 2009). Güncel literatürde bu amaçla birçok yöntem, model veya algoritma mevcuttur. Bunların bir çoğu YSA gibi kara-kutu yöntemlere dayanmaktadır. Bu yüzden genelleştirilememektedir ve yeterince güven verememektedir. Bu tür yöntemleri esas alan modellerin her yeni veriye göre yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, bunların çoğu oldukça pahalı paket programlar gerektirmektedir (Toprak, 2009). Oysa özellikle suya dair küresel veya bölgesel senaryo, tahmin, hesaplama ve tekniklerinin bilimsel açıdan genelleştirilebilir, mantık açısından kabul edilebilir, matematik açıdan doğru, teknik açıdan uygulanabilir ve kullanım açısından kolay olması gerekir (Toprak ve diğ., 2013). ITAM yöntemi bu açıdan tercih edilmiştir.

Su gücü denklemi incelendiğinde suyun birim hacim ağırlığı ve yükseklik farkı sabit değerlerdir. İklim değişikliğinden etkilenebilecek parametre suyun debisidir. Suyun debisi ile ilgili değişimler incelenirse iklim değişikliğinin hidroelektrik potansiyeli üzerindeki etkisi de belirlenebilir.

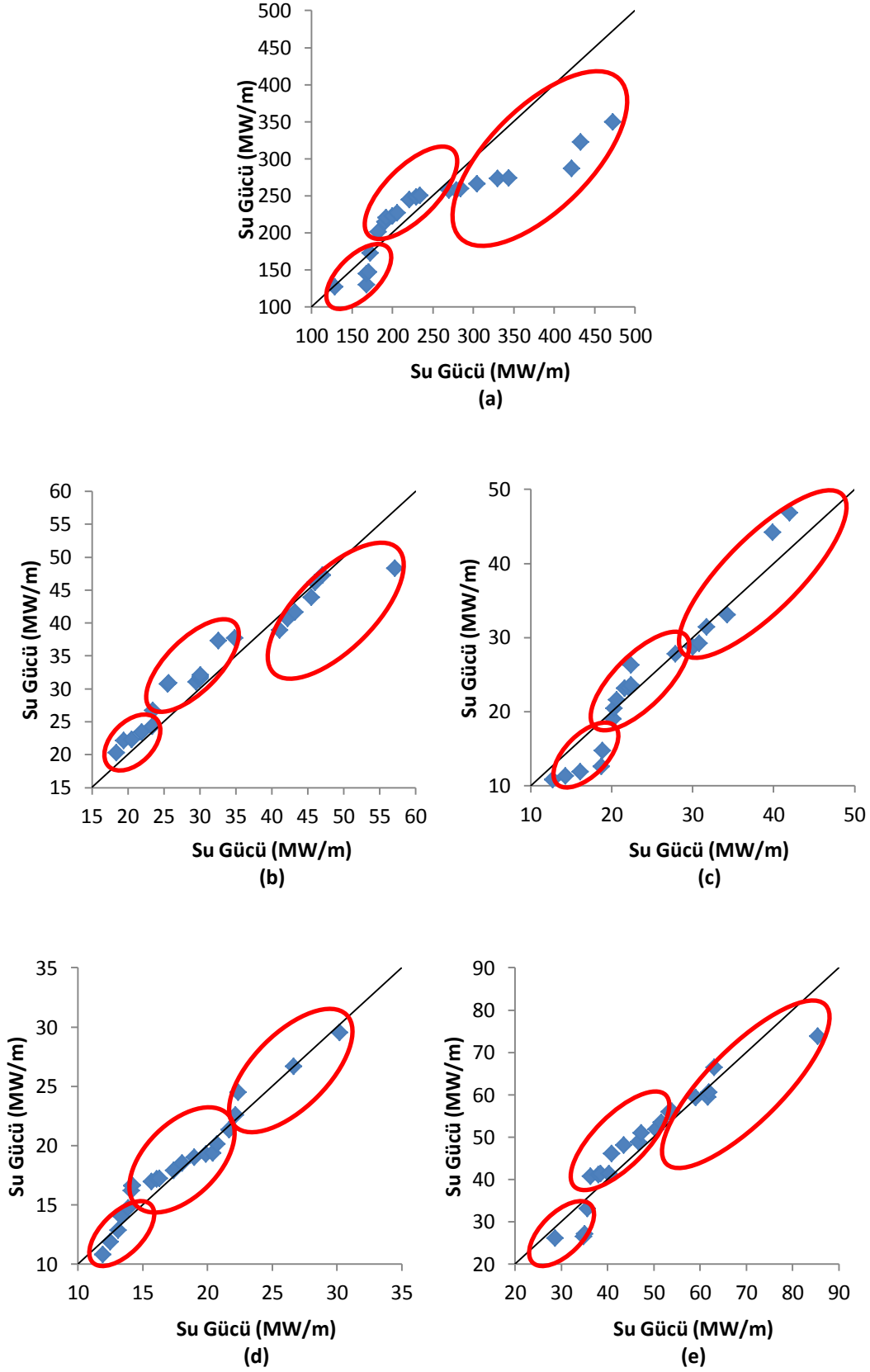
Murat nehir havzası su gücü potansiyelinin iklimsel değişimler karşısındaki değişimini incelemek üzere yeterli veri uzunluğuna sahip 5 adet istasyon kullanılmıştır (Şekil 3.1). Bu istasyonlar ile alakalı bilgiler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. İstasyonların yıllık ortalama akış değerleri kullanılarak yıllık su gücü potansiyelleri belirlenmiştir. Belirlenen su gücü değerleri iki gruba ayrılarak, ilk durumun ikinci durum ile ilişkisi belirlenmiştir. İstasyonların su gücü değerleri yıllık ortalama debi ve birim düşüm yüksekliğinden elde edilebilecek değerlerdir.



Şekil 3.12 : Gidiş Durumları a) sabit b) artan c) azalan d) çok düzenli artan e) çok düzenli azalan.



Şekil 3.13 : Su Gücü Yönelimleri (2000 yılına kadar) a) E21A002 b) E21A064 c) E21A057 d) E21A058 e) E21A022.



Şekil 3.14 : Su Gücü Yönelimleri (2011 yılına kadar) a) E21A002 b) E21A064 c) E21A057 d) E21A058 e) E21A022.

Su gücü potansiyelinde bir önceki döneme göre değişimler % cinsinden Çizelge 3.2’de verilmiştir. Burada verilen değerler yüzde cinsinden değişim miktarlarını göstermektedir. Değişim değerleri, d, ile gösterilmiştir. Değişim aralığının negatif bölgede yer alması söz konusu dönem için azalma ve pozitif bölgede yer alması ise artma eğilimini göstermektedir.

Çizelge 3.2 : Murat Nehri su gücünün iklim değişikliği sonuçları.

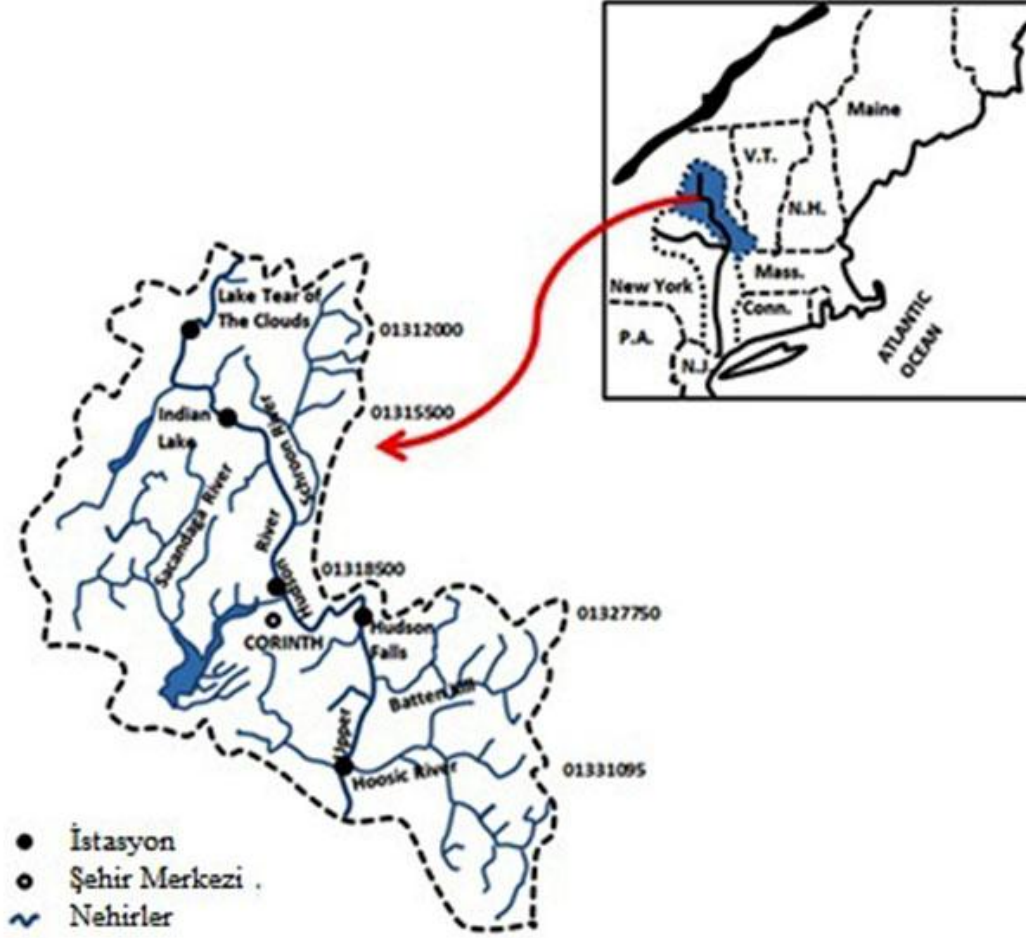
İstasyon No	Su Gücü Değişimleri (%)						
	Değişim Aralığı			Ortalama Değişim			
	Kuraklık	Normal	Taşkın	Kuraklık	Normal	Taşkın	Potansiyel
E21A002	-23<d<-8	-7<d<7	7<d<21	-13	1	14	2
E21A064	-8<d<7	-15<d<5	-13	-4	-2	-13	-3
E21A057	-30<d<-14	0<d<22	11<d<35	-26	7	24	6
E21A058	-14<d<0	-1<d<16	23	-8	1	23	1
E21A022	-22<d<-9	-13<d<0	18	-15	-3	18	-4

3.3 Hudson Nehri

Hudson nehri Birleşmiş Devletler New York eyaletinin doğusunda yer almaktadır. Hudson nehri Yukarı Hudson ve Mohawk Nehri olmak üzere iki ana kola sahiptir (Şekil 3.15). Yukarı Hudson Nehri deniz seviyesinden 1,317 m (4,322 feet) yüksekliğinde Adirondack Dağları’ndaki Tear of Clouds Gölü’nden Federal Barajı’na kadar yaklaşık 257 km (160 mil) boyunca uzanmaktadır (Geyer and Chant, 2006; United States Geological Survey (USGS)). Yukarı Hudson Nehri 9,772 km² drenaj alanına sahiptir (USGS). Yukarı Hudson Nehri yüksek derecede eğimli (2.6 m/km) olup insan faaliyetlerinden fazla etkilenmediğinden mevsim akışları doğal durumuna yakındır (Jackson ve diğ., 2005; Geyer ve Chant, 2006). Yukarı Hudson Nehri ana kol üzerinde 5 adet istasyonunun yıllık ortalama akış değerleri kullanılmıştır. Bunlar membadan mansaba doğru 01331095, 01327750, 01318500, 01315500 ve 01312000 numaralı istasyonlardır. Söz konusu istasyonlara ait istatistiki bilgiler Çizelge 3. 3’te verilmektedir.

Çizelge 3.3 : Hudson Nehri akım gözlem istasyonlarına ait istatistik bilgiler.

İstasyon No	A (km ²)	Ölçüm Aralığı	Q _{ort} (m ³ /s)	σ (m ³ /s)	(C _s)	(C _v)
01331095	9772	1978-2013	196.75	38.35	0.12	0.19
01327750	7277	1978-2013	155.35	30.03	0.32	0.19
01318500	4309	1922-2013	84.81	18.38	0.29	0.22
01315500	2051	1908-2013	45.55	9.32	0.42	0.20
01312000	497	1926-2013	11.75	2.57	0.51	0.22

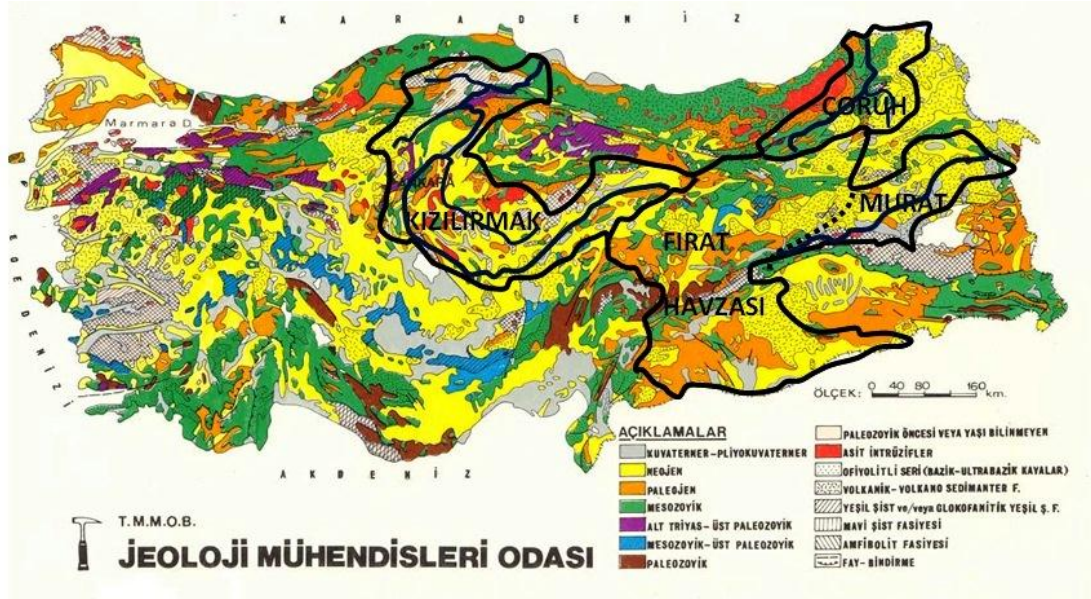


Şekil 3.15 : Hudson Nehri havzası.

3.4 Çoruh Nehri

Çoruh nehir havzası Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alır (Şekil 3.16). Çoruh nehri ana kol üzerinde mansaptan membaya doğru E23A004, E23A020, E23A016, E23A005, E23A022 ve E23A015 numaralı akım gözlem istasyonları yer almaktadır. Memba kısmındaki son istasyon olan E23A015 numaralı akım gözlem istasyonu 19,654 km² havza alanından akış toplamaktadır. Mansap kısmında E21A004

numaralı istasyon 1,545 m yüksekliğe sahip olup, nehir Gürcistan'ın Batum bölgesinde Karadeniz'e dökülmektedir. Çoruh Nehri akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler Çizelge 3.4'te verilmektedir.



Şekil 3.16 : Murat, Çoruh ve Kızılırmak Nehir Havzaları

Çizelge 3.4 Çoruh Nehri akım gözlem istasyonlarına ait istatistik bilgileri.

İstasyon No	A (km ²)	Ölçüm Aralığı	Q _{ort} (m ³ /s)	σ (m ³ /s)	(C _s)	(C _v)
E23A004	1,545	1962-2000	15.96	4.22	0.91	0.26
E23A020	4,759	1971-2000	28.44	7.34	0.75	0.26
E23A016	5,505	1965-2000	38.89	8.77	0.08	0.23
E23A005	7,272	1963-2000	69.73	16.39	0.74	0.24
E23A022	18,326	1972-2000	158.82	29.84	0.93	0.19
E23A015	19,654	1965-2000	208.57	42.97	1.67	0.21

3.5 Kızılırmak Nehri

Kızılırmak nehir havzası Türkiye'nin kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 3.16). Kızılırmak nehri üzerinde mansaptan membaya doğru E15A039, E15A001, E15A032, E15A003, E15A028, E15A036 ve E15A033 numaralı yedi adet istasyonunun yıllık ortalama değerleri kullanılmıştır. E15A033 numaralı son akım gözlem istasyonunda havza alanı 75,120 km²'dir. Bu istasyondan sonra Kızılırmak nehri denize dökülmektedir. Mansap tarafında ilk istasyonun yüksekliği 1,298 m'dir. Akım gözlem istasyonları ile alakalı istatistiki bilgiler Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Kızılırmak Nehri akım gözlem istasyonlarına ait istatistik bilgiler

İstasyon No	A (km ²)	Ölçüm Aralığı	Q _{ort} (m ³ /s)	σ (m ³ /s)	(C _s)	(C _v)
E15A039	1642	1972-2000	14.16	4.28	0.44	0.29
E15A001	15581	1986-2000	72.21	22.02	0.99	0.30
E15A032	20622	1960-1998	81.54	23.80	0.48	0.30
E15A003	30186	1971-2000	76.03	16.97	0.02	0.22
E15A028	57612	1971-1996	115.57	31.26	0.71	0.27
E15A036	60559	1966-2000	133.36	38.28	1.04	0.29
E15A033	75120	1961-1990	183.10	50.18	-0.04	0.27

4. VERİLERİN İSTATİSTİK ANALİZİ

4.1 Amaç

Suyun öneminin yeterince anlaşıldığı günümüzde su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmaları da teknolojik gelişmelere de bağlı olarak önem kazanmaktadır. Su kaynakları geliştirme çalışmalarında sağlıklı, doğru ve süreklilik arz eden verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Gözlem veya ölçüm sonucu elde edilmiş ve kayıt altına alınmış veriler bu tür çalışmaların vazgeçilmezidir. Özellikle ülkemizde birçok havzada yeterli sayıda istasyonun bulunmayışı veya bulunan istasyonlardan sağlıklı, doğru ve kesintisiz olarak verilerin kayıt altına alınmayışı su kaynaklarımızın geliştirilmesi çalışmalarını güçleştirmektedir. Verisi hiç olmayan veya eksik veriye sahip olan havzalarda su kaynaklarını geliştirme çalışmalarında kullanılmak üzere veriler benzer havzalardan veya mevcut yetersiz verilerden yararlanılarak sentetik olarak türetilmektedir. Bu amaçla literatürde çeşitli yöntemler mevcuttur. Öncelikle verilerin hangi dağılıma uyduğunun tespit edilmesi gerekir. Bu nedenle istatistik dağılım fonksiyonları kısaca ele alınmış ve eldeki verilere uygun olan dağılımlar istatistik testlerle tespit edilmiştir. Daha sonraki başlıklar altında sentetik veri üretme tekniklerine kısaca değinilmiş ve uygunluğu tespit edilen üç yöntemle sentetik veri türetilmiştir. Son olarak üretilen sentetik veriler esas alınarak enerji ağacı yöntemi kullanılarak güç hesaplanmıştır. Sonuçlar gerçek veriler kullanılarak enerji ağacı yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca aynı karşılaştırma hipsografik eğriler, düşü-akım diyagramları ve enerji ağacı yöntemlerinin hem gerçek hem de sentetik veriler esas alınarak elde edilmiş sonuçları ile de yapılmıştır.

4.2 Olasılık Dağılım Fonksiyonları

4.2.1 Normal dağılım:

Doğal olayların ölçümleri sonucunda elde edilen örnek fonksiyondaki verilerin çoğu normal dağılıma uymaktadır. Uymayanlar bazı dönüşümlerle (karekök, logaritma) normal dağılım haline dönüştürülebilir (Şen, 2002).

Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (4.1)$$

Aritmetik ortalama;

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4.2)$$

Standart sapma;

$$\sigma = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2} \quad (4.3)$$

4.2.2 Log-normal dağılım:

Normal dağılıma uymayan değişkenlerin doğal logaritmaları alınarak aşağıdaki şekilde normal dağılıma uygun hale getirilir (Şen, 2002).

$$Y = \ln(x) \quad (4.4)$$

Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right] \quad x \gg 0 \quad (4.5)$$

Burada, μ_y ve σ_y sırasıyla y değişkeninin ortalama ve standart sapma değerleri olup, sırası ile aşağıdaki denklemler vasıtası ile gösterilir.

$$\mu_y = \ln \left[\mu_x / \left(\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right)^{1/2} \right] \quad (4.6)$$

$$\sigma_y = \left[\ln \left(\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right) \right]^{1/2} \quad (4.7)$$

4.2.3 Gamma dağılım

Pratikte çok kullanılan bir çarpık dağılım fonksiyonudur (Bayazıt ve Oğuz, 1994).

Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x \geq 0 \quad (4.8)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (4.9)$$

Burada, α şekil parametresi ve β ölçek parametresi olmak üzere beklenen değer ($E(x)$) ve varyans ($Var(x)$) Denklem 4.10 ve 4.11 ile belirlenir.

$$E(x) = \alpha\beta \quad (4.10)$$

$$Var(x) = \alpha\beta^2 \quad (4.11)$$

4.2.4 Genelleştirilmiş ekstrem değer dağılımı

Toplam olasılık dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde verilmiştir;

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \kappa \left(\frac{x}{\alpha} - \xi \right) \right]^{\frac{1}{\kappa}} \right\} \quad \kappa \neq 0 \quad (4.12)$$

$$F(x) = \exp \left\{ - \exp \left[- \left(\frac{x}{\alpha} - \xi \right) \right] \right\} \quad \kappa = 0 \quad (4.13)$$

Burada, α ölçek, κ şekil ve ξ boyutsuz yer parametresidir. Söz konusu dağılım $\kappa = 0$ değeri için Gumbel dağılımına dönüşür. $\kappa < 0$ için Weibull ve $\kappa > 0$ için Frechet dağılımına dönüşür (Bayazıt, 1995).

4.3 Olasılık Dağılımı Uygunluk Testleri

4.3.1 Olasılık çizgisi korelasyon testi

Filliben (1975) tarafından normallik testi için geliştirilmiştir. Olasılık çizgisi korelasyon testi güçlü ve kolay uygulanabilir bir testtir. Bunun uygulanması test istatistikleri tablolaştırılmış biçimlere dayandığı için bazen zordur (Heo ve diğ., 2008). Söz konusu yöntem sıralı veriler kullanılarak elde edilen olasılıkların belli dağılımlara karşılık gelen standart veriler ile korelasyonuna dayanır. Elde edilen korelasyon değeri ilgili dağılım için kullanılan kritik değerlerden büyükse seçilen dağılım veriye uygundur. Belli dağılımların olasılık değerleri için,

$$p(i) = \frac{i-a}{n+1-2a} \quad (4.14)$$

denklemini kullanılmaktadır. Burada i verinin sırasını (mertebesi) ve n ise veri sayısını göstermektedir. Normal ve log-normal dağılım için $a=0.375$; ekstrem değer dağılımları için ise $a=0.44$ değeri, Gamma dağılımı için de $a=0.5$ değeri uygundur (Bayazıt, 1995).

Tablolaştırılmış kritik değerler normal ve log-normal dağılım için Çizelge A.2; Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GEV) dağılımı Çizelge A.3’de bulunmaktadır. Gamma dağılımı için aşağıdaki ifade ve Çizelge A.4 kullanılmalıdır.

$$\ln\left(\frac{1}{1-r_q}\right) = (a + b\gamma)n^{c+d\gamma+e\gamma^2} \quad 0.5 \leq \gamma \leq 5 \quad (4.15)$$

Burada, r_q kritik korelasyon değeri, γ çarpıklık katsayısı ve a , b , c , d , e denklem katsayılarıdır. İstatistik önem seviyesine (%1, %5 ve %10) göre elde edilen a , b , c , d ve e katsayılarına göre kritik korelasyon katsayısı elde edilir.

4.3.2 Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi

Parametrik olmayan bir uygunluk testidir. Yöntem temel olarak örnek fonksiyon ile teorik dağılımdan elde edilen toplam frekans eğrileri arasındaki farkın belli bir değerin altında kalması durumu ile uygunluk gösterir.

$$F = \text{Max}|S_{TS} - S_{TT}| \quad (4.16)$$

Burada, F , test parametresi, S_{TS} , örnek fonksiyon toplam bağıl sıklık (frekans) değeri ve S_{TT} , teorik toplam bağıl sıklık değeridir (Şen, 2002). F_{kritik} değerleri için Çizelge A.5 kullanılmalıdır.

4.4 Sentetik Seri Üretim Yöntemleri

Sentetik seri üretimi gözlenmiş değerlerin yetersiz olduğu ve gelecek ile alakalı öngörülerin yapılması gerektiği durumlarda yapılmaktadır. Sentetik seri üretiminde log-normal dağılım, Markov zincirleri ve dalgacık yöntemi kullanılmıştır.

4.4.1 Log-normal dağılım

Bu dağılım ile ilgili bilgiler olasılık dağılım fonksiyonları kısmında ayrıntılı olarak verilmiştir. Ölçülmüş değerlerden log-normal dağılıma ait parametreler elde edilir. Elde edilen parametreler kullanılarak istenilen uzunluk ve adette log-normal rastgele sentetik seriler elde edilebilir.

4.4.2 Markov zincirleri

Markov zincirleri esas olarak geçmiş durumlara ve durumlar arasındaki geçiş olasılıklarına göre geleceğe yönelik tahminler yürütülmesini sağlar. Markov zincirleri yönteminde öncelikle geçmişte gözlenmiş değerler belli aralıklara bölünerek veri aralığındaki eşit alt aralıklardaki durumlar elde edilir. Durumlar arası yaklaşık belli bir değer ile ilerlenir. Geçmiş gözlem değerleri gözönüne alınarak olasılık matrisi elde edilir. Bu matriste her bir satırdaki olasılıkların toplamı 1'e eşit olmalıdır. Olasılık matrisleri de toplanarak toplam olasılık matrisi elde edilir. Toplam geçiş olasılık matrisleri hesaplandıktan sonra bir başlangıç durumu seçilir daha sonra 0 ile 1 arasında düzenli rastgele sayılar üretilerek ilk durumdan başlamak üzere rastgele sayılara göre durumlar arasında ilerlenerek, serinin gelecek durumları tahmin edilir. Gelecek tahminleri belirlendikten sonra her bir durumun kendi içinde düzenli rastgele sayılar üretilerek durum içindeki sayısal değerler elde edilir. Üretilmiş seri gözlenmiş seri içindeki maksimum ve minimum değerleri içermelidir.

4.4.3 Dalgacık yöntemi

Bu yöntem, gözlenmiş verilerin öncelikle bileşenlerine ayrılması ve daha sonra sentetik seriler üretme amacıyla tekrar rastgele biçimde birleştirilmesi mantığına dayanır. Yöntem sentetik seri üretme yanında görüntü işleme ve gürültü giderme gibi bilgisayar ve elektronik mühendisliği alanında da kullanılmaktadır. Basitliğinden dolayı Haar dalgacık yöntemi çalışmada kullanılmıştır (Aksoy vd., 2004). Haar dalgacık fonksiyonu aşağıdaki ifade ile gösterilebilir.

$$f_k(t) = \frac{1}{2^k} \int_{2^k l}^{2^k(l+1)} f(\tau) d(\tau) \quad (4.17)$$

$$2^k l < t < 2^k(l+1); \quad M = 2^k \quad (4.18)$$

Burada, k ölçek değişkeni, l geçiş değişkeni, t zaman ve $f_k(t)$ fonksiyonu belirlenen aralıkta $f(\tau)$ fonksiyonunun ortalamasıdır. Verilerin bileşenlerine ayırma işleminde Denklem (4.17) kullanılarak aşağıdaki fonksiyonlar elde edilir.

$$f_0(t) = \int_l^{(l+1)} f(\tau) d(\tau)$$

$$f_1(t) = \frac{1}{2} \int_{2l}^{2(l+1)} f(\tau) d(\tau)$$

$$f_2(t) = \frac{1}{4} \int_{4l}^{4(l+1)} f(\tau) d(\tau)$$

$$f_{\infty}(t) = 0$$

Çalışmada kullanılan veri sayısına göre k değeri elde edilir. Bunun anlamı gözlenmiş verinin k ölçekte bileşenlerine ayrılması ve tekrar sentetik seriler üretmek amacıyla rastgele birleşmesidir. Bileşenlerine ayrılmış fonksiyonun tekrar elde edilmesinde fonksiyonlar arasındaki farklardan, $f_{k-1}(t) - f_k(t)$, meydana gelen yeni bir fonksiyon $g_k(t)$ tanımlanır. Bu yeni fonksiyonun değerleri üst üste toplanmasıyla orijinal fonksiyon, rastgele şekilde toplanmasıyla yeni sentetik seriler aşağıda verilen denklemlere göre üretilir.

$$g_k(t) = f_{k-1}(t) - f_k(t) \quad (4.19)$$

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g_k(t) \quad (4.20)$$

4.5 Sentetik Veri Türetilmesi

Çalışmada Murat Nehrine ait E21A002, E21A052, E21A022, E21A057, E21A058, E21A064 ve E21A077 numaralı istasyonlara ait yıllık ortalama akım değerleri normal, log-normal, Gamma ve GEV dağılımlarına uydurulmuştur. Söz konusu dağılımlar için olasılık çizgisi korelasyon ve Kolmogorov-Smirnov testleri uygulanarak istasyonlar için en uygun dağılımlar elde edilmiştir. En uygun dağılım (log-normal), Markov zincirleri ve dalgacık yöntemlerine göre sentetik seriler elde edilmiştir. Bu seriler kullanılarak kötü, beklenen ve iyi senaryolar üretilmeye çalışılmıştır.

4.5.1 Olasılık dağılım parametreleri

Çalışma alanında bulunan E21A002, E21A052, E21A022, E21A064, E21A057, E21A058 ve E21A077 numaralı istasyonların yıllık ortalama debi değerleri normal,

log-normal, Gamma ve GEV dağılımları için araştırılmıştır. Bu istasyonların çeşitli dağılımlar için parametrik değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Olasılık dağılım parametreleri

Akım Gözlem İstasyonları	Olasılık Dağılım Fonksiyonları								
	Normal		Lognormal		Gamma			GEV	
	μ	σ	μ	σ	α	β	κ	α	ξ
E21A002	243,15	79,18	5,44	0,32	10,33	23,55	-0,006	61,89	207,60
E21A052	127,27	27,47	4,83	0,21	23,85	5,34	-0,080	22,42	115,7
E21A022	48,54	13,39	3,84	0,28	13,34	3,64	-0,143	11,98	43,09
E21A057	24,85	9,53	3,14	0,39	7,05	3,53	-0,047	7,79	20,64
E21A058	18,12	4,63	2,87	0,25	16,62	1,09	-0,012	3,66	16,03
E21A064	32,82	9,51	3,45	0,29	12,37	2,65	-0,077	8,01	28,67
E21A077	32,82	11,54	3,42	0,38	7,97	4,12	-0,267	10,8	28,82

4.5.2 Uygunluk testleri

4.5.2.1 Olasılık çizgisi korelasyon testi

İstatistik parametre değerleri belirlendikten sonra her bir istasyon için olasılık çizgisi korelasyon testi uygulanmıştır. Bu test değerleri herbir istasyon ve dağılım için hesaplanarak Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu çizelgede satırlar Murat Nehri havzasında bulunan akım gözlem istasyonlarını, sütunlar ise belli olasılık dağılımları için olasılık çizgisi test sonuçlarını göstermektedir. Çizelgede koyu renkli rakamlar söz konusu istasyonun ilgili satırdaki dağılım için test koşullarını sağladığını, koyu renkli ve altı çizili rakamlar ise test koşullarını sağlayan en iyi dağılım olduğunu göstermektedir. Log-normal dağılım E21A077 nolu istasyon haricinde olasılık çizgisi korelasyon testi için en uygun dağılımı vermektedir. E21A077 nolu istasyon için normal dağılım en iyi sonucu vermektedir.

Çizelge 4.2 : Olasılık çizgisi korelasyon testi.

Akım Gözlem İstasyonları	Veri Sayısı	Olasılık Dağılım Fonksiyonları							
		Normal		Lognormal		Gamma		GEV	
		r_q	r	r_q	r	r_q	r	r_q	r
E21A002	44	0,973	0,969	0,973	0,994	0,967	0,969	0,956	0,969
E21A052	14	0,934	0,966	0,934	0,976	0,942	0,966	0,912	0,966
E21A022	43	0,973	0,989	0,973	0,992	0,972	0,989	0,937	0,989
E21A057	39	0,971	0,976	0,971	0,989	0,968	0,975	0,950	0,976
E21A058	44	0,973	0,976	0,973	0,995	0,969	0,975	0,957	0,976
E21A064	42	0,973	0,977	0,973	0,986	0,972	0,977	0,948	0,977
E21A077	15	0,937	0,976	0,937	0,968	0,949	0,975	0,890	0,975

4.5.2.2 Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi

Daha önce belirtildiği üzere, Çizelge 4.3’de koyu renkli rakamlar söz konusu istasyonun ilgili satırdaki dağılım için test koşullarını sağladığını, koyu renkli ve altı çizili rakamlar ise test koşullarını sağlayan en iyi dağılım olduğunu göstermektedir. GEV dağılımı E21A002 ve E21A052 nolu istasyonlar için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testine göre en uygun dağılımı vermektedir. Log-normal dağılım ise E21A002, E21A052 ve E21A077 nolu istasyonlar hariç diğer istasyonlar için en iyi sonucu vermekte ve tüm istasyonlar için Kolmogorov-Smirnov test koşulunu sağlamaktadır.

Çizelge 4.3 : Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi.

Akım Gözlem İstasyonları	Veri Sayısı	Olasılık Dağılım Fonksiyonları							
		Normal		Lognormal		Gamma		GEV	
		F_{kritik}	F	F_{kritik}	F	F_{kritik}	F	F_{kritik}	F
E21A002	44	0,202	0,107	0,202	0,066	0,202	0,075	0,202	0,058
E21A052	14	0,349	0,217	0,349	0,188	0,349	0,203	0,349	0,182
E21A022	43	0,204	0,098	0,204	0,061	0,204	0,077	0,204	0,078
E21A057	39	0,214	0,143	0,214	0,069	0,214	0,095	0,214	0,085
E21A058	44	0,202	0,087	0,202	0,078	0,202	0,081	0,202	0,080
E21A064	42	0,206	0,127	0,206	0,082	0,206	0,090	0,206	0,086
E21A077	15	0,338	0,142	0,338	0,143	0,338	0,122	0,338	0,132

4.5.3 Sentetik seri üretilmesi

Sentetik seriler özellikle gözlem değerlerinin az olduğu istasyonlarda üretilir. Üretilen sentetik seriler gözlem dışında gelecekte durumun olumlu veya olumsuz yönde neleri getireceği hakkında fikir verir. Bu çalışmada sentetik seri üretimi log-normal dağılım, Markov ve dalgacık yöntemleri kullanılmıştır. Tüm istasyonlar için eş veri uzunluğuna sahip 1,000 adet sentetik seri üretilmiştir.

4.5.3.1 Log-normal dağılım ile sentetik seri üretilmesi

Olasılık dağılımı uygunluk testleri sonuçları göz önünde bulundurularak sentetik seri üretiminde log-normal dağılımın kullanılmasına karar verilmiştir. Özellikle olasılık çizgisi korelasyon testinde log-normal dağılımın yedi istasyondan altısına en iyi uyum sağlayan dağılım olması ve Kolmogorov-Smirnov test koşullarını sağlaması havzaya uygun olduğunu göstermektedir. Log-normal dağılım yöntemiyle sentetik seri üretiminde öncelikle gözlenmiş seriler için benzer dağılımın parametreleri bulunmuş ve sonra ilgili parametreler kullanılarak benzer veri uzunluğunda 1,000 adet seri üretilmiştir. Bu 1,000 adet serinin tümü kullanılarak olabilecek maksimum, minimum ve ortalama değerler elde edilmiştir (Çizelge 4.4). Tüm istasyonlar için maksimum değerlerden daha büyük ve minimum değerlerden daha düşük değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 : Gözlenmiş ve üretilmiş seriler (Log-normal dağılım).

İstasyon No	Seri Türü	Debi değerleri (m ³ /s)			Standart Sapma
		Maksimum	Minimum	Ortalama	
E21A002	Gözlenmiş Seri	472,04	126,75	243,15	79,18
	Üretilmiş Seri	805,62	57,80	243,53	79,18
E21A052	Gözlenmiş Seri	177,00	83,80	127,27	27,47
	Üretilmiş Seri	313,32	48,58	127,46	27,59
E21A022	Gözlenmiş Seri	85,49	26,16	48,54	13,39
	Üretilmiş Seri	159,04	13,38	48,61	13,96
E21A057	Gözlenmiş Seri	46,82	10,79	24,86	9,53
	Üretilmiş Seri	108,59	4,87	24,82	10,07
E21A058	Gözlenmiş Seri	30,20	10,81	18,12	4,63
	Üretilmiş Seri	44,96	6,45	18,13	4,57
E21A064	Gözlenmiş Seri	57,16	18,41	32,82	9,51
	Üretilmiş Seri	101,54	8,44	32,82	9,80
E21A077	Gözlenmiş Seri	52,00	13,40	32,82	11,54
	Üretilmiş Seri	120,78	7,53	33,13	13,04

4.5.3.2 Markov zinciri yöntemiyle sentetik seri üretilmesi

Markov zinciri yöntemiyle sentetik seri üretme çalışmasında durum sayıları belirlenerek, E21A002 nolu istasyon için, 1. durumda 87-174 m³/s debi değerleri alınmış, daha sonraki durumlar için 87 m³/s değerleri eklenerek son olarak 5. durum 436-523 m³/s değerleri elde edilmiştir. E21A052 nolu istasyon için 1. durumda 70-95 m³/s değerleri alınmış daha sonraki durumlara 25 m³/s değeri eklenerek son olarak 4. durumda 169-194 m³/s değerleri elde edilmiştir. E21A022 nolu istasyon için 1. durumda 19-34 m³/s değerleri alınmış daha sonraki durumlara 15 m³/s değerleri eklenerek son olarak 5. durumda 78-93 m³/s değerleri elde edilmiştir. E21A057 nolu istasyon için 1. durumda 6-16 m³/s değerleri alınmış daha sonraki durumlara 10 m³/s değerleri eklenerek son olarak 4. durumda 46-56 m³/s değerleri elde edilmiştir. E21A058 nolu istasyon için de 1. durumda 8-13 m³/s değerleri alınmış daha sonraki durumlara 5 m³/s değerleri eklenerek son olarak 5. durumda 29-34 m³/s değerleri elde edilmiştir. E21A064 nolu istasyon için, 1. durumda 14-24 m³/s değerleri alınmış daha sonraki durumlara 10 m³/s değerleri eklenerek, son olarakta 5. durumda 55-65 m³/s değerleri elde edilmiştir. E21A077 nolu istasyon için ise 1. durumda 8-20 m³/s değerleri alınmış daha sonraki durumlara 12 m³/s değerleri eklenerek son olarak 4. durumda 46-58 m³/s değerleri elde edilmiştir. Gözlenmiş değerlerin standart sapmaları 79.18 m³/s, 27.37 m³/s, 13.39 m³/s, 20.27 m³/s, 9.53 m³/s, 4.63 m³/s, 9.51 m³/s ve 11.54 m³/s olduğundan durumlar arası yaklaşık bir standart sapma aralığıyla ilerlenmiştir. Geçmiş gözlem değerlerinin meydana gelme olasılıkları göz önüne alınarak seriler için olasılık geçiş matrisleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.5). Olasılık geçiş matrisleri için her satırın toplamı 1'e eşit olmalıdır. Bu durum herhangi bir aralıktaki debinin geçebileceği tüm aralıktaki olasılıkları toplamının 1'e eşit olmasıdır. Örneğin, 1. durumdaki debi 1., 2., 3., 4. veya 5. durumlardan birine mutlaka geçecektir. Mutlak gerçekleşme olasılığı 1 olarak tanımlandığından, olasılık geçiş matrisleri toplamıda 1'e eşittir. Olasılık geçiş matrisi hesaplandıktan sonra her bir satırdaki geçiş olasılıkları toplanarak toplam olasılık geçiş matrisleri elde edilir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.5 : Olasılık geçiş matrisi.

$P_{E21A002}$	$P_{E21A022}$	$P_{E21A058}$
$\begin{bmatrix} 0,40 & 0,30 & 0,30 & 0,00 & 0,00 \\ 0,22 & 0,50 & 0,22 & 0,06 & 0,00 \\ 0,09 & 0,45 & 0,36 & 0,00 & 0,10 \\ 0,00 & 0,67 & 0,00 & 0,33 & 0,00 \\ 1,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,40 & 0,20 & 0,40 & 0,00 & 0,00 \\ 0,06 & 0,35 & 0,53 & 0,06 & 0,00 \\ 0,06 & 0,56 & 0,25 & 0,06 & 0,07 \\ 0,00 & 0,67 & 0,33 & 0,00 & 0,00 \\ 1,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,14 & 0,43 & 0,43 & 0,00 & 0,00 \\ 0,22 & 0,22 & 0,39 & 0,11 & 0,06 \\ 0,08 & 0,62 & 0,23 & 0,07 & 0,00 \\ 0,00 & 0,67 & 0,00 & 0,00 & 0,33 \\ 0,50 & 0,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$
$P_{E21A064}$	$P_{E21A057}$	$P_{E21A052}$
$\begin{bmatrix} 0,20 & 0,40 & 0,30 & 0,10 & 0,00 \\ 0,33 & 0,20 & 0,20 & 0,27 & 0,00 \\ 0,10 & 0,60 & 0,30 & 0,00 & 0,00 \\ 0,20 & 0,40 & 0,20 & 0,00 & 0,20 \\ 1,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,29 & 0,14 & 0,43 & 0,00 & 0,14 \\ 0,19 & 0,50 & 0,25 & 0,06 & 0,00 \\ 0,00 & 0,40 & 0,40 & 0,20 & 0,00 \\ 0,50 & 0,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 1,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 1,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,17 & 0,33 & 0,17 & 0,00 & 0,33 \\ 0,00 & 0,67 & 0,00 & 0,33 & 0,00 \\ 0,00 & 1,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,50 & 0,50 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$
$P_{E21A077}$		
$\begin{bmatrix} 0,00 & 0,50 & 0,50 & 0,00 \\ 0,17 & 0,67 & 0,00 & 0,16 \\ 0,00 & 0,33 & 0,00 & 0,67 \\ 0,33 & 0,00 & 0,67 & 0,00 \end{bmatrix}$		

Çizelge 4.6 : Toplam olasılık geçiş matrisi.

$P_{E21A002}$	$P_{E21A022}$	$P_{E21A058}$
$\begin{bmatrix} 0,40 & 0,70 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 0,22 & 0,72 & 0,94 & 1,00 & 1,00 \\ 0,09 & 0,55 & 0,91 & 0,91 & 1,00 \\ 0,00 & 0,67 & 0,67 & 1,00 & 1,00 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,40 & 0,60 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 0,06 & 0,41 & 0,94 & 1,00 & 1,00 \\ 0,06 & 0,63 & 0,88 & 0,94 & 1,00 \\ 0,00 & 0,67 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,14 & 0,57 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 0,22 & 0,44 & 0,83 & 1,00 & 1,00 \\ 0,08 & 0,69 & 0,92 & 1,00 & 1,00 \\ 0,00 & 0,67 & 0,67 & 0,67 & 1,00 \\ 0,50 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \end{bmatrix}$
$P_{E21A064}$	$P_{E21A057}$	$P_{E21A052}$
$\begin{bmatrix} 0,20 & 0,60 & 0,90 & 1,00 & 1,00 \\ 0,33 & 0,53 & 0,73 & 1,00 & 1,00 \\ 0,10 & 0,70 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 0,20 & 0,60 & 0,80 & 0,80 & 1,00 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,29 & 0,43 & 0,86 & 0,86 & 1,00 \\ 0,19 & 0,69 & 0,94 & 1,00 & 1,00 \\ 0,00 & 0,40 & 0,80 & 1,00 & 1,00 \\ 0,50 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 0,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 0,17 & 0,50 & 0,67 & 0,67 & 1,00 \\ 0,00 & 0,67 & 0,67 & 1,00 & 1,00 \\ 0,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 0,00 & 0,50 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \end{bmatrix}$
$P_{E21A077}$		
$\begin{bmatrix} 0,00 & 0,50 & 1,00 & 1,00 \\ 0,17 & 0,83 & 0,83 & 1,00 \\ 0,00 & 0,33 & 0,33 & 1,00 \\ 0,33 & 0,33 & 1,00 & 1,00 \end{bmatrix}$		

Çizelge 4.7 : Gözlenmiş ve üretilmiş seriler (Markov zinciri).

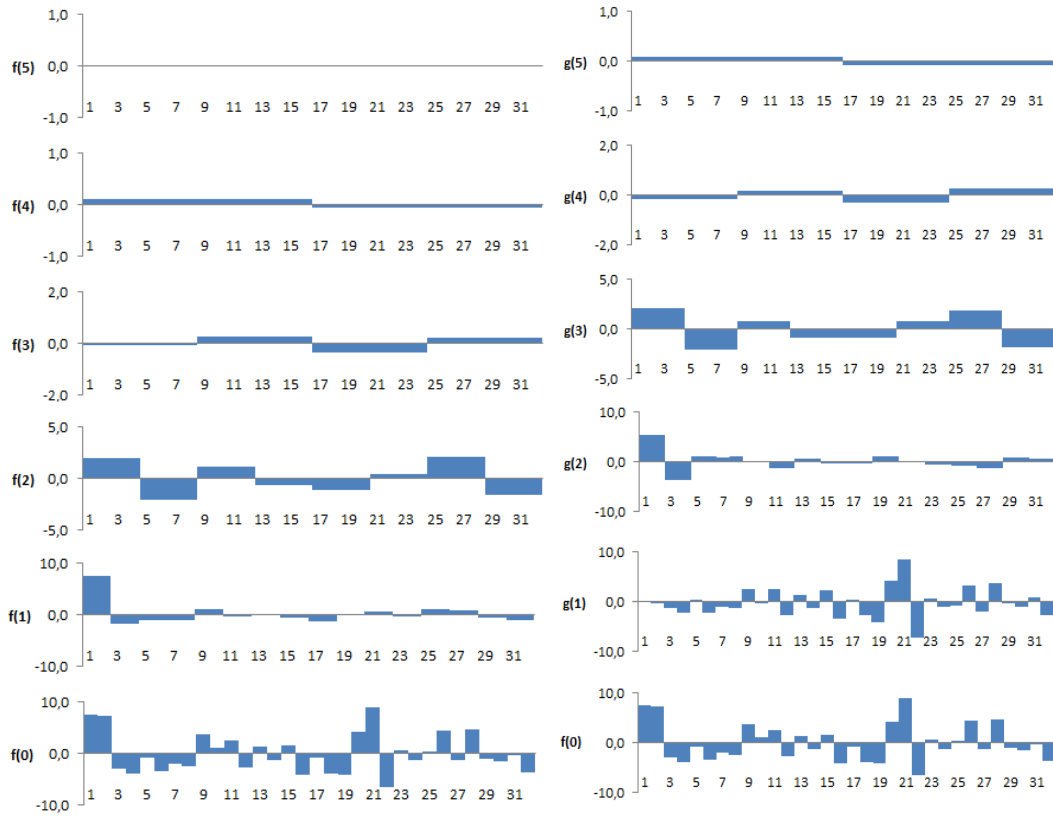
İstasyon No	Seri Türü	Debi değerleri (m ³ /s)			Standart Sapma
		Maksimum	Minimum	Ortalama	
E21A002	Gözlenmiş Seri	472,04	126,75	243,15	79,18
	Üretilmiş Seri	522,59	87,18	232,51	81,71
E21A052	Gözlenmiş Seri	177,00	83,80	127,27	27,47
	Üretilmiş Seri	193,65	70,09	126,00	30,20
E21A022	Gözlenmiş Seri	85,49	26,16	48,54	13,39
	Üretilmiş Seri	93,11	19,47	48,03	12,90
E21A057	Gözlenmiş Seri	46,82	10,79	24,86	9,53
	Üretilmiş Seri	56,03	6,03	25,03	9,75
E21A058	Gözlenmiş Seri	30,20	10,81	18,12	4,63
	Üretilmiş Seri	33,95	8,49	18,17	5,17
E21A064	Gözlenmiş Seri	57,16	18,41	32,82	9,51
	Üretilmiş Seri	65,94	13,66	32,54	11,18
E21A077	Gözlenmiş Seri	52,00	13,40	32,82	11,54
	Üretilmiş Seri	58,38	7,64	31,88	12,92

4.5.3.3 Dalgacık yöntemiyle sentetik seri üretilmesi

Bu çalışmada E21A002, E21A022, E21A057, E21A058 ve E21A064 nolu istasyonlara ait 32 yıllık ortalama akım değeri kullanıldığından $32=2^5$ formülü gereği $k=5$ değeri bulunmuştur. E21A052 ve E21A077 nolu istasyonlara ait 16 yıllık ortalama akım değeri kullanıldığından $16=2^4$ formülü gereği $k=4$ değeri bulunmuştur. E21A058 nolu istasyonun akım değerlerini 32 yıla tamamlamak için eksik olan 1969 yılının Ekim ayı ile E21A002 nolu istasyonun aynı zamandaki akım değeri arasında korelasyon yapılmıştır. E21A064 nolu istasyonun akım değerlerini 32 yıla tamamlamak için eksik olan 1969 yılının Ekim ve Kasım ayı ile E21A002 nolu istasyonun aynı zamandaki akım değerleri arasında korelasyon yapılmıştır. E21A052 nolu istasyonun akım değerlerini 16 yıla tamamlamak için eksik olan 1984 ve 1985 yılı ile E21A002 nolu istasyonun aynı zamandaki akım değerleri arasında korelasyon yapılmıştır. E21A077 nolu istasyonun akım değerlerini 16 yıla tamamlamak için eksik olan 1985 yılı ile E21A057 nolu istasyonun aynı zamandaki akım değerleri arasında korelasyon yapılmıştır. Bu durum gözlenmiş serinin 5 veya 4 defa ayrıştırılıp, tekrar birleştirilmesi işlemine dayanır. Bulunan değerler grafik üzerinde geçerli oldukları aralıkta işaretlenerek örnek gösterim E21A002 nolu istasyon için Şekil 4.1 elde edilmiştir. Sentetik seri ve üretilmiş serilerin istatistik değerleri Çizelge 4.8’ de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Gözlenmiş ve üretilmiş seriler (Dalgacık).

İstasyon No	Seri Türü	Debi değerleri (m ³ /s)			Standart Sapma
		Maksimum	Minimum	Ortalama	
E21A002	Gözlenmiş Seri	472,04	126,75	243,15	79,18
	Üretilmiş Seri	799,86	63,91	236,86	69,69
E21A052	Gözlenmiş Seri	177,00	83,80	127,27	27,47
	Üretilmiş Seri	227,22	56,58	118,64	27,98
E21A022	Gözlenmiş Seri	85,49	26,16	48,54	13,39
	Üretilmiş Seri	145,05	14,86	48,42	13,51
E21A057	Gözlenmiş Seri	46,82	10,79	24,86	9,53
	Üretilmiş Seri	98,86	5,87	25,48	9,68
E21A058	Gözlenmiş Seri	30,20	10,81	18,12	4,63
	Üretilmiş Seri	43,24	7,28	18,41	4,30
E21A064	Gözlenmiş Seri	57,16	18,41	32,82	9,51
	Üretilmiş Seri	83,45	12,35	32,28	10,58
E21A077	Gözlenmiş Seri	52,00	13,40	32,82	11,54
	Üretilmiş Seri	71,69	12,80	39,19	15,48



Şekil 4.1 : Haar dalgacık yöntemi (E21A002) a. (Ayrıştırma) b. (Birleştirme).

4.5.4 Sentetik seri yöntemlerinin kıyaslanması

Kullanılan üç yöntemi sınamak amacıyla gözlenmiş seri ve sentetik serilere ait ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler arasındaki fark yüzde cinsinden hesaplanmış ve ölçülmüş (gözlenmiş, gerçek) serinin sentetik seriye uygunluğu istatistik parametreler açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ölçülmüş değerlere göre farkı yüzde cinsinden vermektedir. Tüm istasyonlarda maksimum değerleri daha büyük ve minimum değerleri daha küçük sentetik seriler elde edilmiştir. Maksimum ve minimum değerlerin elde edilmesinde çoğunlukla Markov yöntemi diğer iki yöntemle göre daha yakın sonuçlar vermiştir. Ortalama ve standart sapma parametrelerini çoğunlukla log-normal dağılım ölçülmüş değerlere daha yakın sonuçlar vermiştir. Veri sayısı az olan E21A077 numaralı istasyonda dalgacık yöntemi diğer iki yöntemle göre ölçülmüş değerlere daha yakın sonuç vermiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 : Gözlenmiş ve üretilmiş seri parametre farkları.

İstasyon	Yöntem	Farklar(%)			
		Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart Sapma
E21A002	Lognormal	-54,40	0,16	70,67	0,00
	Markov	-31,22	-4,37	10,71	3,20
	Dalgacık	-49,58	-2,59	69,45	-11,99
E21A052	Lognormal	-42,03	0,15	77,02	0,44
	Markov	-16,36	-1,00	9,41	9,94
	Dalgacık	-32,48	-6,78	28,37	1,86
E21A022	Lognormal	-48,85	0,14	86,03	4,26
	Markov	-25,57	-1,05	8,91	-3,66
	Dalgacık	-43,20	-0,25	69,67	0,90
E21A057	Lognormal	-54,87	-0,16	131,93	5,67
	Markov	-44,11	0,68	19,67	2,31
	Dalgacık	-45,60	2,49	111,15	1,57
E21A058	Lognormal	-40,33	0,06	48,87	-1,30
	Markov	-21,46	0,28	12,42	11,66
	Dalgacık	-32,65	1,60	43,18	-7,13
E21A064	Lognormal	-54,16	0,00	77,64	3,05
	Markov	-25,80	-0,85	15,36	17,56
	Dalgacık	-32,92	-1,65	45,99	11,25
E21A077	Lognormal	-43,81	0,94	132,27	13,00
	Markov	-42,99	-2,86	12,27	11,96
	Dalgacık	-4,48	19,41	37,87	34,14

5. YÖNTEM GELİŞTİRME ESASLARI

Hidroelektrik enerji potansiyeli hesaplamaları konusunda bugüne kadar birçok yöntem önerilmiştir. Bunlar akım öteleme, debi süreklilik, hipsografik eğriler (HE), düşü-akım (DA), uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemiyle ve bölgesel analiz yolu ile hidroelektrik potansiyeli belirleme yöntemleridir. Brüt potansiyelin hesaplanmasında, akış gözlemlerinin alan dağılımının yeterli olmadığı durumlarda, başta HE olmak üzere, eş akış eğrileri, karelere bölerek akış belirlenmesi gibi yöntemler uygulanmakta; akış gözlemleri yeterli olduğunda ise, DA diyagramlarının uygulanması yerinde olmaktadır (Öziş ve diğ., 1998; Öziş, 1985 ve 1991).

5.1 Hipsografik Eğriler Yöntemi:

Bu eğriler yönteminde, havzanın öncelikle ortalama yükseltisi (Denklem 5.1) daha sonrada Denklem 5.2’de debi ve yükseklik değerleri yerine konularak ilgili havzanın brüt güç potansiyeli, P, bulunur.

$$h_a = \frac{\sum_{j=1}^n h_j \times A_j}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (5.1)$$

$$P = \gamma \times (h_a - h_o) \times (Q_o - Q_i) + \gamma \times (h_i - h_o) \times Q_i \quad (5.2)$$

Burada, γ suyun özgül ağırlığı, h_a ortalama kot, h_j j. istasyonun kotu, A_j istasyonun havza alanı, h_o havzanın çıkış noktasındaki kot, h_i havzanın giriş noktasındaki kot, Q_i havzanın giriş noktasındaki debi ve Q_o havzanın çıkış noktasındaki debidir.

5.2 Düşü-Akım Diyagramları Yöntemi:

DA diyagramları yönteminde güç, iki yükselti arasındaki farkın giriş ve çıkış arasındaki ortalama debiye çarpımı şeklinde hesaplanmaktadır. İki nokta arasındaki brüt potansiyeli, aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$P = \gamma \times (h_a - h_b) \times (Q_a + Q_b)/2 \quad (5.3)$$

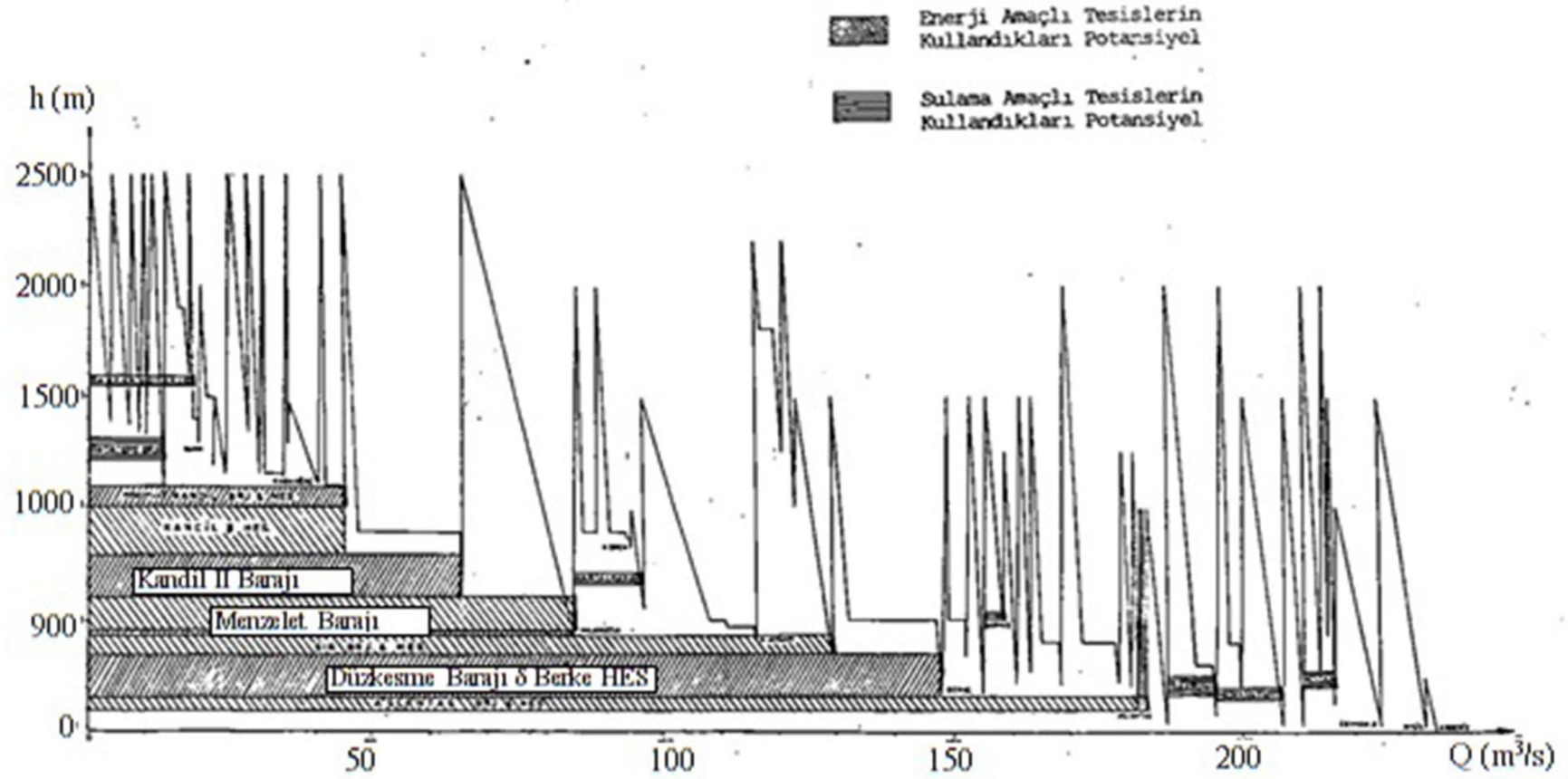
Burada, γ suyun özgül ağırlığı, h_a , a noktasının kotu, h_b , b noktasının kotu, Q_b , b noktasındaki debi ve Q_a , a noktasındaki debidir.

DA diyagramları yöntemi, Baran ve diğ. (1987) tarafından yapılan “Türkiye’nin Su Kuvveti Potansiyeli” konulu çalışmada da brüt hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde en tutarlı yöntem olarak görülmesine rağmen, bu yöntemin yetersiz yönlerinin bulunması nedeniyle, daha hassas bir hesaplama için yeni bir yöntem geliştirilmesi yoluna gidilmiştir. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere, düşü-akım diyagramları yöntemi incelendiğinde, ard arda debi ve yükseklik eksenlerinde dizilen üçgenler Denklem (5.3) ile verilen enerji formülü gereği brüt hidroelektrik potansiyelini vermektedir. Ancak, nehir kolları arasındaki bağlantı yani hidroelektrik potansiyelin konumu bilinmemektedir.

Ayrıca söz konusu yöntemde debi ile yüksekliğin doğrusal olarak değiştiği kabul edilmektedir. Bilindiği üzere akılcı (rasyonel yöntem) debi, Q , pik debi ile havza alanının, A , doğrusal değiştiği varsayımı üzerine aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$Q = c \times i \times A \quad (5.4)$$

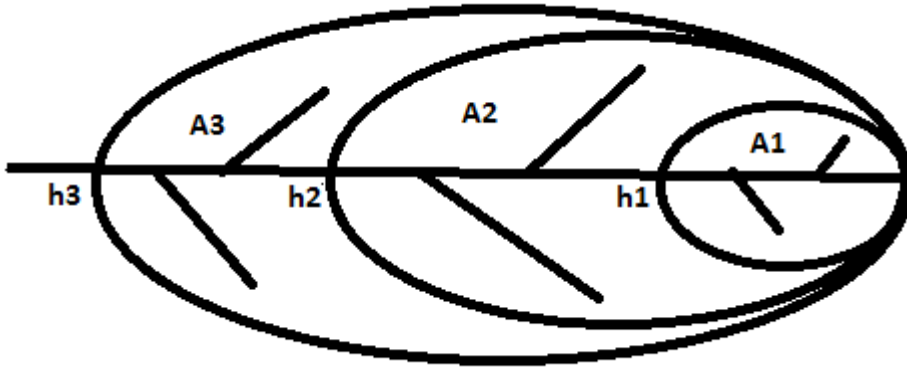
Burada, c yağışın ne kadarının akışa geçebileceğini ifade eden havza akış katsayısını, i de yağışın şiddetini gösterir.



Şekil 5.1 : Ceyhan Havzası brüt su potansiyelinin belirlenmesinde düşü-akım diyagramları yönteminin grafik gösterimi (Baran ve diğ., 1987).

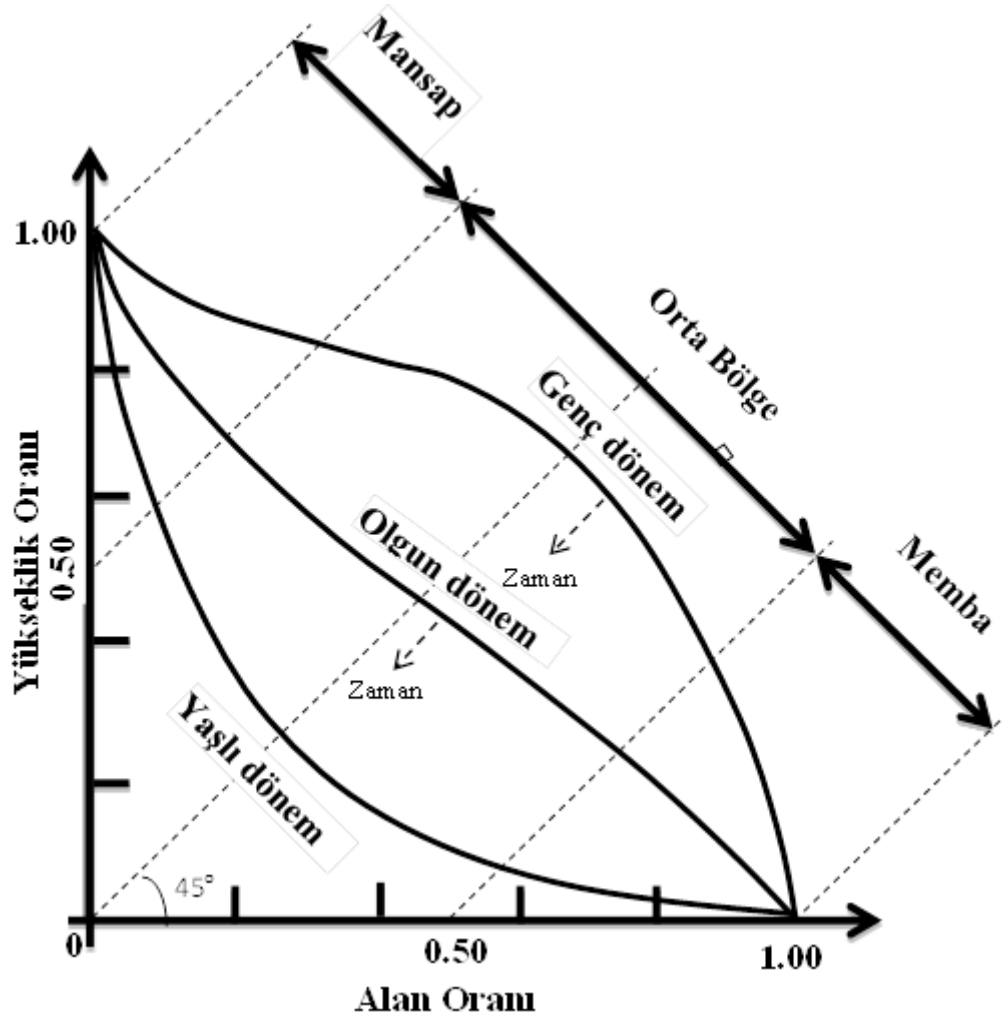
Yerçekimi kuvvetinin etkisi ile açık kanal akımları yüksek kottan düşük kota doğru meydana gelmektedir. Bu nedenle akarsuyun akışı istikametinde her yükseklik değişimine karşılık alanda bir değişme meydana gelmektedir. Havza alanı ile yükseklik değişiminde havza alanı yatayda iki boyutlu olarak değişim göstermesine karşılık, yükseklik, düşeyde tek boyutta değişim göstermektedir. Bu da havza alanı ile yükseklik ilişkisinin doğrusal değil de, parabol olduğunu göstermektedir. Başka bir ifade ile her yükseklik değişiminde alan karesel olarak değişmektedir. Havza alanı - debi ilişkisi akılcı yöntem gereği doğrusal kabul edilebileceğinden, debi ile yükseklik arasında da ikinci dereceden bir ilişkinin olduğu kabul edilebilir. Havza ardışık alanları A_1 , A_2 ve A_3 olarak h_1 , h_2 ve h_3 yükseltileri ile beraber aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.2).

$$Q = f(A) = f(f(h)) = f^2(h) \quad (5.5)$$



Şekil 5.2 : Havza alanı ve nehir akış yüksekliği değişimi.

Bir havza alanında hipsografik yani eş yükselti eğrileri kullanılarak belli yüksekliklere karşılık gelen havza alanları elde edilebilir. Elde edilen alanlar toplam alana ve yükseklikler toplam yüksekliğe bölünerek ölçekli olarak Şekil (5.3)'de gösterilebilir. Bu şekil aynı zamanda ilgili havzanın standart hipsografik eğrisi olarak adlandırılabilir. Hipsografik eğrileri hesaplanırken havzanın en üst noktası (h_i) havza alanının sıfır olduğu diğer ismiyle giriş yüksekliğinden başlanır. Havza alanı giriş yüksekliğinde sıfırdır ve yükseklik azaldıkça havza alanı artar, en düşük noktada diğer ismiyle çıkış yüksekliğinde (h_o) maksimum değerini alır. Havza alanına bağlı olarak çıkış noktasında nehrin debisi de maksimum değerini alır. Genel olarak, bir havza Şekil 5.3'te gösterildiği gibi genç, olgun veya yaşlı havza olarak adlandırılır.



Şekil 5.3 : Farklı standart hipsografik eğriler.

Herhangi bir havzanın genç, olgun veya yaşlı durumu her nesne gibi zamanla oluşur.

Her hipsografik eğri yükseklik sınıfına göre mansap, orta bölge ve memba olarak adlandırılabilir (Şekil 5.3). Standart hipsografik eğrinin şekli jeomorfolojik yüzey özelliklerini sınıflandırmamıza ve nitelik olarak olası hidroelektrik üretim noktalarını belirlememize yardım eder. Bu sınıflandırma herhangi bir havzanın farklı bölgelerindeki hidroelektrik potansiyel hakkında öncelikli olarak ileride görüleceği üzere genel bilgi verir.

- Mansap kısmında yükseklik farkları genç dönemde, diğer iki döneme kıyasla daha azdır. Bu fark genç dönem ile yaşlı dönem arasında en fazladır. Aynı zamanda mansap kısımları genç, olgun ve yaşlı dönemleri sırasıyla düşük, orta ve yüksek su gücü potansiyelli bölgeler olarak sınıflandırılabilir.

- Orta bölge üzerinde mansap kısımlarıyla kıyaslandığında, genç dönem daha fazla, olgun dönem neredeyse aynı ve yaşlı dönem daha az su gücü potansiyeline sahiptir.
- Memba kısmında genç dönem havzaları en yüksek ve yaşlı dönem en düşük hidroelektrik potansiyeline sahiptir. Olgun dönem havzaları orta bölge ve mansap kısmı ile aynı davranır.

Fırat ve Dicle nehir havzalarının standart hipsografik eğrileri Türkiye'deki diğer nehir havzalarıyla kıyaslandığında yaşlı dönem sınıfına girer (Şekil 3.16). Türkiye bu nehirlerin üst kısmına sahip olduğundan hidroelektrik potansiyelin %90'ından fazlası Türkiye sınırları içinde kalır.

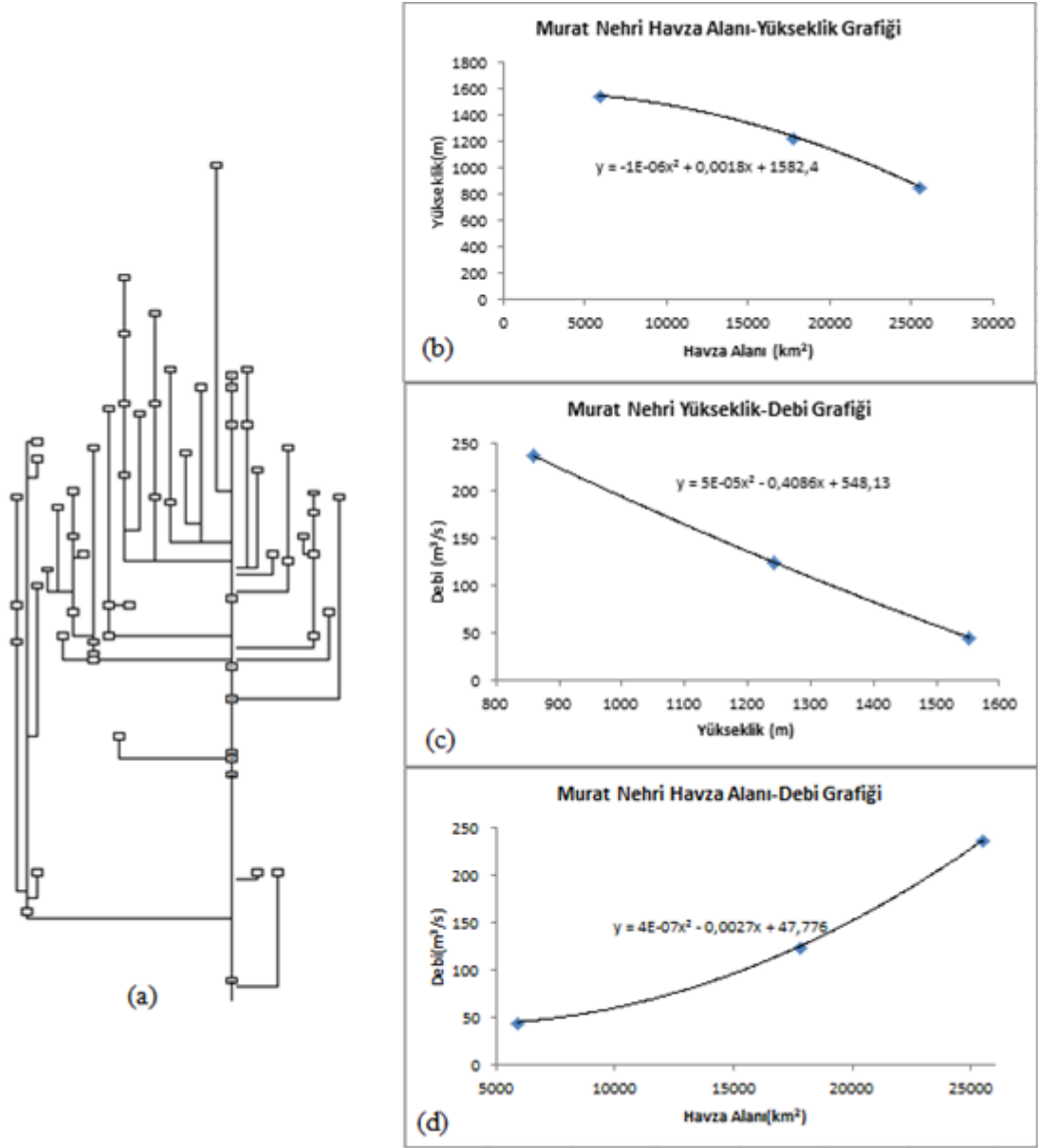
Özellikle tarım açısından bakıldığında, orta bölge ve daha aşağı memba kısımları en iyi yerlerdir. Bu açıdan bakıldığında, Suriye Irak'a göre Fırat Nehri açısından daha iyi konumdadır. Bu durum düşünüldüğünde Türkiye'nin niçin Fırat ve Dicle'nin su kaynakları üzerine hidroelektrik üretme amacıyla yoğunlaştığını açıklamaktadır. Aynı zamanda Türkiye, söz konusu nehirlerin güneydoğu kısmında tarımsal faaliyetlere yoğunlaşmaktadır. Türkiye bu amaçla Güneydoğu Anadolu Projesi'ne (GAP) 1980 yılında başladı ve uygulamaları günümüzde hala devam etmektedir. Bu projede, 19 adet güç üretim tesisi tamamlandığında hidroelektrik enerjinin yanısıra Türk tarımının iki katına çıkması umulmaktadır. Hidroelektrik üretim tesisleri dünyanın en büyükleri arasındadır.

Türkiye'nin yine güneydoğu bölgesinde Dicle Nehri'nin enerjiye uygun hipsografik eğri yapısından dolayı yıllık 3,800 GWh enerji üretmesi beklenen Ilısu Barajı inşaa aşamasındadır.

5.3 Enerji Ağacı Yöntemi

Brüt hidroelektrik enerji hesaplamasına yönelik olarak geliştirilmiş ve bu tezde ayrıntılı bir misal olarak Murat Nehri enerji potansiyelinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu yöntem tüm havzayı debi ve yükseklik açısından gözler önüne serdiğinden ve iki akım gözlem istasyonu arasındaki debi artışından sağlanan enerji miktarını da hesaba kattığından önceki enerji potansiyeli belirleme çalışmalarından farklı olarak daha hassas ve güvenilir bir şekilde enerji potansiyeli hesaplamasına imkân tanımaktadır. Aynı yöntem kullanılarak, bir su kaynağının hidroelektrik potansiyelinin belirlenmesinde aşağıdaki adımlar izlenecektir.

- a) Nehrin yükseklik şeması çıkarılarak, mevcut debilerin kotları (K_i) ve bu kotlar arasındaki farklar (H_i) elde edilmektedir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 : Murat Nehri için, a) Enerji ağacı b) Yükseklik-havza alanı grafiği, d) Yükseklik-debi grafiği, b) Debi-havza alanı grafiği.

- b) Nehir üzerindeki akım gözlem istasyonlarının uzun yıllar ortalama debileri, mevcut kotlarına göre yükseklik şemasına yerleştirilir. Bu işlemin tamamlanmasından sonra artık akım gözlem istasyonları bazında nehrin ortalama brüt güç potansiyeli aşağıdaki formüle göre belirlenmektedir.

$$\sum_{i=1}^n \gamma \times Q_i \times H_i = \sum_{i=1}^n 9.81 \times Q_i \times H_i \quad (5.6)$$

Burada, suyun özgül ağırlığı (γ), 5°C için 9,78 kN/m³ olarak alınmıştır. Ayrıca K_i , H_i ve Q_i sırası ile i . istasyonun kotunu, mansabındaki ilk istasyonla arasındaki kot farkını (m), n istasyon sayısı ve debisini (m³/s) göstermektedir.

- c) Denklem (5.6) kesikli olup, drenaj ağı boyunca debi değişimi ihmal edilmiştir. Drenaj ağı boyunca debi değişimi yan kollarda ihmal edilecek düzeyde küçük olabilir ya da akım gözlem istasyonlarının yetersizliğinden dolayı belli bir hata payına rağmen bu yöntem seçilebilir. Ana kol üzerinde debi değişimi artışının da denkleme katılmasıyla sürekli bir enerji potansiyeli denklemi elde edilebilmektedir.
- d) Ana kol üzerindeki Q_1 , Q_2 , ve Q_3 debileri ile bu debilere karşılık gelen alanlar grafik olarak çizilir. Debi ve alanının Denklem (5.4) bağıntısına göre havza katsayısı oranında doğrusal olarak değiştiği bilinmektedir.
- e) Nehirler çok uzun zamanlardan beri yatağını aşındırarak üst kottan alt kota doğru yerçekimi etkisiyle akarlar. Bundan dolayı nehrin yüksekliği ile havza alanı arasında ters orantılı ve kaotik olmayan düzenli bir ilişki vardır. Nehrin kolu boyunca yükseklik azaldıkça kapsadığı havza alanı devamlı surette artar. Şelale, vb. keskin bir yükseklik farkı olmadıkça aynı kol üzerinde belli bir eğri ile devam eder. Bu eğrinin derecesi havza alanı-yükseklik grafiği çizilerek elde edilmektedir.
- f) Havza alanı - yükseklik grafiğinden nehir ana kol üzerinden istenilen kotta nehrin havza alanı belirlenebilir. Havza alanı – debi grafiğinden söz konusu havza alanları arasındaki debi değişimleri elde edilmektedir.
- g) Ana kol üzerinde debi – havza alanı grafiği çizilerek aşağıdaki denkleme göre toplam ana kol üzerinde toplam güç miktarı elde edilmektedir.

$$P = \gamma \int_{h_1}^{h_2} Q(h).dh = 9.81 \int_{h_1}^{h_2} Q(h).dh \quad (5.7)$$

Burada, $Q(h)$, yükseklik esaslı debi çizgisinin denklemini, h_1 ve h_2 'de iki ayrı noktadaki yükseklikleri belirtmektedir.

5.4 Güç Hesaplama Yöntemlerinin Kıyaslanması

EA yöntemi nehir kolu üzerinde her noktada brüt enerji hesaplamasına imkân verirken, düşü-akım yöntemi iki kol arasında ve hipsografik eğriler yalnızca havza bazında hesap yapılmasına imkân verir. Hipsografik eğriler ve düşü-akım

diyağramları yan kolları grafik üzerinde gösteremediğinden dolayı, EA yöntemi görsel olarak diğer iki yonteme göre daha üstündür. EA yöntemi nehir kolları üzerindeki debi-yükseklik değişimini doğru (lineer) kabul etmeyip gerçek ilişkiyi belirlediğinden fiziksel bir tabana sahip olduğunu söyleyebilir ve yöntem diğer nehirler için de genelleştirebilir. Bu iddialar söz konusu üç yöntem için kıyaslamalı olarak Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Yöntemlerin Kıyaslanması.

Kriter	Models			
	ET (Yarı Logaritmik)	ET (Logaritmik)	DA	HE
Sınırlama	Yok	Yok	Sınırlı	Yok
Genelleştirme	Genelleştirilebilir	Genelleştirilebilir	Sınırlı	Vasat
Hassasiyet	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	Vasat
Veri hassasiyeti	Vasat	Vasat	Gerekli	Gerekli
Fiziksel Yönü	Var	Var	Düşük	Düşük
Doğruluk	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	Vasat
Matematiksel Yönü	Sağlam	Sağlam	Sağlam	Sağlam
Teknik durum	Uygulanabilir	Uygulanabilir	Sınırlı	Sınırlı
Kullanım	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay

6. GÜÇ HESAPLAMASI UYGULAMALARI

Hidroelektrik enerji potansiyeli hesaplamaları üzerine bugüne kadar birçok yöntem önerilmiştir. Bunlar akım öteleme, debi süreklilik, HE, DA, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemiyle ve bölgesel analiz yolu ile hidroelektrik potansiyeli belirleme yöntemleridir. Brüt potansiyelin hesaplanmasında, akış gözlemlerinin alan dağılımının yeterli olmadığı durumlarda, başta hipsografik eğriler olmak üzere, eş akış eğrileri, karelere bölerek akış belirlenmesi gibi yöntemler uygulanmakta; akış gözlemleri yeterli olduğunda ise, düşü-akım diyagramlarının uygulanması yerinde olmaktadır (Öziş ve diğ., 1998; Öziş, 1998). Havzada akım gözlemlerinin yeterli olmadığı durumlarda hipsografik eğriler yöntemi uygulanmaktadır. Havzada akım gözlemleri yeterli olduğunda ise düşüm-akım diyagramları kullanılmaktadır (Ağırlioğlu ve diğ., 2009). Bu bölümde Murat, Çoruh, Kızılırmak ve Hudson nehirleri için HE, DA ve EA yöntemleri kullanılarak güç miktarları hesaplanmıştır.

6.1 Sentetik Serilerle Güç Üretimi

Asıl çalışma havzası Murat Nehri olduğundan, sentetik seri üretimi yalnızca Murat Nehri için yapılmıştır. Bundan dolayı sentetik seriler kullanılarak güç üretimi yalnızca Murat Nehri için HE, DA ve EA yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

6.1.1 Hipsografik eğriler yöntemi:

HE yönteminin kullanılması için öncelikle havzanın ortalama yükseltisi bulunmalıdır. Havza ortalama yüksekliği Denklem (5.1) ile bulunmuş ve daha sonra Denklem 5.2 kullanılarak Murat Nehri için enerji ve güç potansiyeli hesaplanmıştır. Ölçülmüş değerlerden elde edilen parametreler kullanılarak her bir istasyonun veri uzunluğunda 1000 adet sentetik seri üretilmiştir. Bu sentetik serilerin maksimum, ortalama ve minimum değerleri sırasıyla iyi, beklenen ve kötü senaryoları oluşturmaktadır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 : Murat Nehri brüt enerji hesaplamaları (Hipsografik eğriler).

		Murat Nehri Havza Potansiyeli							
Beklenti	Seri Adı	Q _o (m ³ /s)	Q _i (m ³ /s)	h _a (m)	h _o (m)	h _i (m)	Güç (MW)	Enerji (GWh)	
Hipsografik Eğriler Yöntemi	Kötü Senaryo	Gözlenmiş	126,75	26,16	1225	859	1552	537,42	4710,44
		Lognormal	57,80	13,38	1225	859	1552	249,71	2188,70
		Markov	87,18	19,47	1225	859	1552	374,36	3281,30
		Dalgacık	63,91	14,86	1225	859	1552	276,32	2421,91
	Beklenen Senaryo	Gözlenmiş	243,15	48,54	1225	859	1552	1025,69	8990,17
		Lognormal	243,55	48,61	1225	859	1552	1027,35	9004,68
		Markov	232,51	48,03	1225	859	1552	985,97	8642,01
		Dalgacık	236,86	48,42	1225	859	1552	1002,79	8789,44
	İyi Senaryo	Gözlenmiş	472,04	85,49	1225	859	1552	1963,26	17207,98
		Lognormal	805,62	159,04	1225	859	1552	3392,67	29736,73
		Markov	522,59	93,11	1225	859	1552	2168,59	19007,72
		Dalgacık	799,86	145,05	1225	859	1552	3327,30	29163,80

Hipsografik eğriler yöntemi için kötü senaryo üzerine en düşük güç log-normal dağılım ile 249,71 MW ve en yüksek güç miktarı gözlenmiş değerler ile 374.36 MW olarak hesaplanmıştır. Söz konusu yöntem beklenen senaryo üzerine en düşük güç Markov yöntemi ile 985,87 MW ve en yüksek güç miktarı log-normal ile 1027.35 MW olarak hesaplanmıştır. Söz konusu yöntem iyi senaryo üzerine en düşük güç gözlenmiş akımlar ile 1963.26 MW ve en yüksek güç miktarı log-normal ile 3392.67 MW olarak hesaplanmıştır.

6.1.2 Düşü-Akım diyagramları yöntemi

DA diyagramları Denklem 5.3 kullanılarak Murat Nehri için uygulanmıştır. HE yönteminde olduğu gibi iyi, beklenen ve kötü senaryolar ortaya konulmuştur (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 : Murat Nehri brüt enerji hesaplamaları (Düşü-akım diyagramları).

	Beklenti	Seri Adı	Murat Nehri Havza Potansiyeli						
			$Q_{E21A002}$ (m ³ /s)	$Q_{E21A052}$ (m ³ /s)	$Q_{E21A022}$ (m ³ /s)	$h_{E21A002}$ (m)	$h_{E21A052}$ (m)	$h_{E21A022}$ (m)	Güç (MW)
Düşü-Akım Diyagramları Yöntemi		Gözlenmiş	126,75	83,80	26,16	859	1241	1552	562,25
	Kötü Senaryo	Lognormal	57,80	48,58	13,38	859	1241	1552	293,84
		Markov	87,18	70,09	19,47	859	1241	1552	431,30
		Dalgacık	63,91	56,58	14,86	859	1241	1552	334,74
		Gözlenmiş	243,15	127,27	48,54	859	1241	1552	966,90
	Beklenen Senaryo	Lognormal	243,55	127,46	48,61	859	1241	1552	968,41
		Markov	232,51	126,00	48,03	859	1241	1552	941,82
		Dalgacık	236,86	118,64	48,42	859	1241	1552	925,36
		Gözlenmiş	472,04	177,00	85,49	859	1241	1552	1616,53
	İyi Senaryo	Lognormal	805,62	313,32	159,04	859	1241	1552	2817,13
		Markov	522,59	193,65	93,11	859	1241	1552	1779,47
		Dalgacık	799,86	227,22	145,05	859	1241	1552	2492,33

Düşü-akım diyagramları yöntemi için kötü senaryo üzerine en düşük güç log-normal dağılım ile 293.83 MW ve en yüksek güç miktarı gözlenmiş değerler ile 562.25 MW olarak hesaplanmıştır. Sözkonusu yöntem beklenen senaryo üzerine en düşük güç dalgacık yöntemi ile 925.36 MW ve en yüksek güç miktarı log-normal ile 968.41 MW olarak hesaplanmıştır. Sözkonusu yöntem iyi senaryo üzerine en düşük güç gözlenmiş akımlar ile 1616.53 MW ve en yüksek güç miktarı log-normal ile 2817.13 MW olarak hesaplanmıştır.

6.1.3 Enerji ağacı yöntemi

Murat Nehri güç ve enerji potansiyeli Denklem 5.7 kullanılarak, EA yöntemi ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerden diğer iki yöntemde olduğu gibi iyi, beklenen ve kötü olmak üzere 3 adet senaryo üretilmiştir (Çizelge 6.3).

6.2 Murat Nehir Havzası Potansiyel Risk Analizi

Murat Nehir havzasında mevcut bulunan 7 istasyonun her biri için belli risklere karşılık gelen debi değerleri bulunmuştur (Çizelge 6.4). Debi değerleri bulunurken

havza için en uygun dağılım olan log-normal dağılım kullanılmıştır. Toplam log-normal fonksiyonundan belli olasılık yüzdelere karşılık gelen debi değerleri bulunmuştur. Daha sonra bulunan debi değerleri ve istasyon yükseklikleri kullanılarak güç ve enerji potansiyelleri HE, DA diyagramları ve EA yöntemleri kullanılarak gözlenmiş değerlere göre hesaplanmıştır (Çizelge 6.5, Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7). Çizelge 6.6; 6.7, ve 6.8’de kullanılan debiler belli riskler gözönüne alınarak gelen debileri göstermektedir.

Çizelge 6.3 : Murat Nehri brüt enerji hesaplamaları (Enerji ağacı).

Beklenti	Seri Adı	Murat Nehri Havza Potansiyeli				Debi-Yükseklik Denklemi	Güç (MW)	Enerji (GWh)
		$Q_{E21A002}$ (m ³ /s)	$Q_{E21A022}$ (m ³ /s)	$h_{E21A002}$ (m)	$h_{E21A022}$ (m)			
Enerji Ağacı Yöntemi	Gözlenmiş	126,75	26,16	859	1552	$Q=-1,823e-07 \cdot h^{2,769}+151$	574,79	5038,03
	Kötü Senaryo	Lognormal	57,80	13,38	859	$Q=-1,749e-14 \cdot h^{4,839}+62,35$	301,15	2639,58
		Markov	87,18	19,47	859	$Q=-2,636e-14 \cdot h^{4,839}+92,73$	445,40	3903,93
		Dalgacık	63,91	14,86	859	$Q=-1,959e-14 \cdot h^{4,839}+70,24$	340,04	2980,45
	Gözlenmiş	243,15	48,54	859	1552	$Q=38,63 \cdot 10^6 \cdot h^{-1,768}$	1025,00	8984,13
	Beklenen Senaryo	Lognormal	243,55	48,61	859	$Q=-60,71 \cdot h^{0,3777}+1022$	947,37	8303,70
		Markov	232,51	48,03	859	$Q=-5,637 \cdot h^{0,6331}+638,6$	928,88	8141,63
		Dalgacık	236,86	48,42	859	$Q=7081 \cdot h^{-0,07793}-3946$	897,77	7868,95
	Gözlenmiş	472,04	85,49	859	1552	$Q=1,683e+09 \cdot h^{-2,216}-57,16$	1491,20	13070,37
	İyi Senaryo	Lognormal	805,62	159,04	859	$Q=2,265e+09 \cdot h^{-2,183}-86,11$	2603,30	22817,92
		Markov	522,59	93,11	859	$Q=2,544e+09 \cdot h^{-2,263}-59,49$	1638,80	14364,08
		Dalgacık	799,86	145,05	859	$Q=2,711e+16 \cdot h^{-4,631}+99,83$	2109,70	18491,52

Enerji ağacı yöntemi için kötü senaryo üzerine en düşük güç log-normal dağılım ile 301.15 MW ve en yüksek güç miktarı gözlenmiş değerler ile 574.79 MW olarak hesaplanmıştır. Sözkonusu yöntem beklenen senaryo üzerine en düşük güç dalgacık yöntemi ile 897.77 MW ve en yüksek güç miktarı gözlenmiş değerler ile 1025 MW olarak hesaplanmıştır. Sözkonusu yöntem iyi senaryo üzerine en düşük güç gözlenmiş akımlar ile 1491.20 MW ve en yüksek güç miktarı log-normal ile 2603.30 MW olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4 : Murat Nehir havzası belirli risk seviyelerinde debi değerleri (m³/s).

İstasyon	UygunOlasılıkDağılımı	Risk Seviyelerine Göre Debi Değerleri(m ³ /s)				
		10%	20%	30%	40%	50%
E21A002	Lognormal Dağılım	154,32	177,36	196,09	213,65	231,47
E21A052	Lognormal Dağılım	95,67	104,93	112,15	118,72	125,21
E21A022	Lognormal Dağılım	32,55	36,85	40,31	43,51	46,74
E21A064	Lognormal Dağılım	21,70	24,66	27,05	29,26	31,50
E21A057	Lognormal Dağılım	14,00	16,63	18,83	20,93	23,11
E21A058	Lognormal Dağılım	12,80	14,27	15,44	16,51	17,58
E21A077	Lognormal Dağılım	18,97	22,43	25,30	28,04	30,88

İstasyon	UygunOlasılıkDağılımı	Risk Seviyelerine Göre Debi Değerleri(m ³ /s)				
		60%	70%	80%	90%	99%
E21A002	Lognormal Dağılım	250,79	273,25	302,09	347,20	483,21
E21A052	Lognormal Dağılım	132,05	139,79	149,42	163,88	204,08
E21A022	Lognormal Dağılım	50,20	54,19	59,26	67,10	90,10
E21A064	Lognormal Dağılım	33,91	36,69	40,24	45,73	61,96
E21A057	Lognormal Dağılım	25,52	28,38	32,13	38,17	57,46
E21A058	Lognormal Dağılım	18,72	20,01	21,65	24,14	31,27
E21A077	Lognormal Dağılım	34,00	21,65	42,51	50,25	74,74

Çizelge 6.5 : Risk seviyelerinde güç ve enerji değerleri (HE yöntemi).

Hipsografik Eğriler Yöntemi	Risk	Murat Nehri Havza Potansiyeli						
		Q _u	Q _{gir}	z _o	z _u	z _{gir}	Güç(MW)	Enerji(GWh)
	10%	154,32	32,55	1225	859	1552	656,55	5754,65
	20%	177,36	36,85	1225	859	1552	752,78	6598,13
	30%	196,09	40,31	1225	859	1552	830,90	7282,83
	40%	213,65	43,51	1225	859	1552	904,00	7923,52
	50%	231,47	46,74	1225	859	1552	978,12	8573,22
	60%	250,79	50,20	1225	859	1552	1058,35	9276,43
	70%	273,25	54,19	1225	859	1552	1151,51	10093,02
	80%	302,09	59,26	1225	859	1552	1270,97	11140,07
90%	347,20	67,10	1225	859	1552	1457,53	12775,29	
99%	483,21	90,10	1225	859	1552	2017,99	17687,70	

Çizelge 6.6 : Risk seviyelerinde güç ve enerji değerleri (DA yöntem).

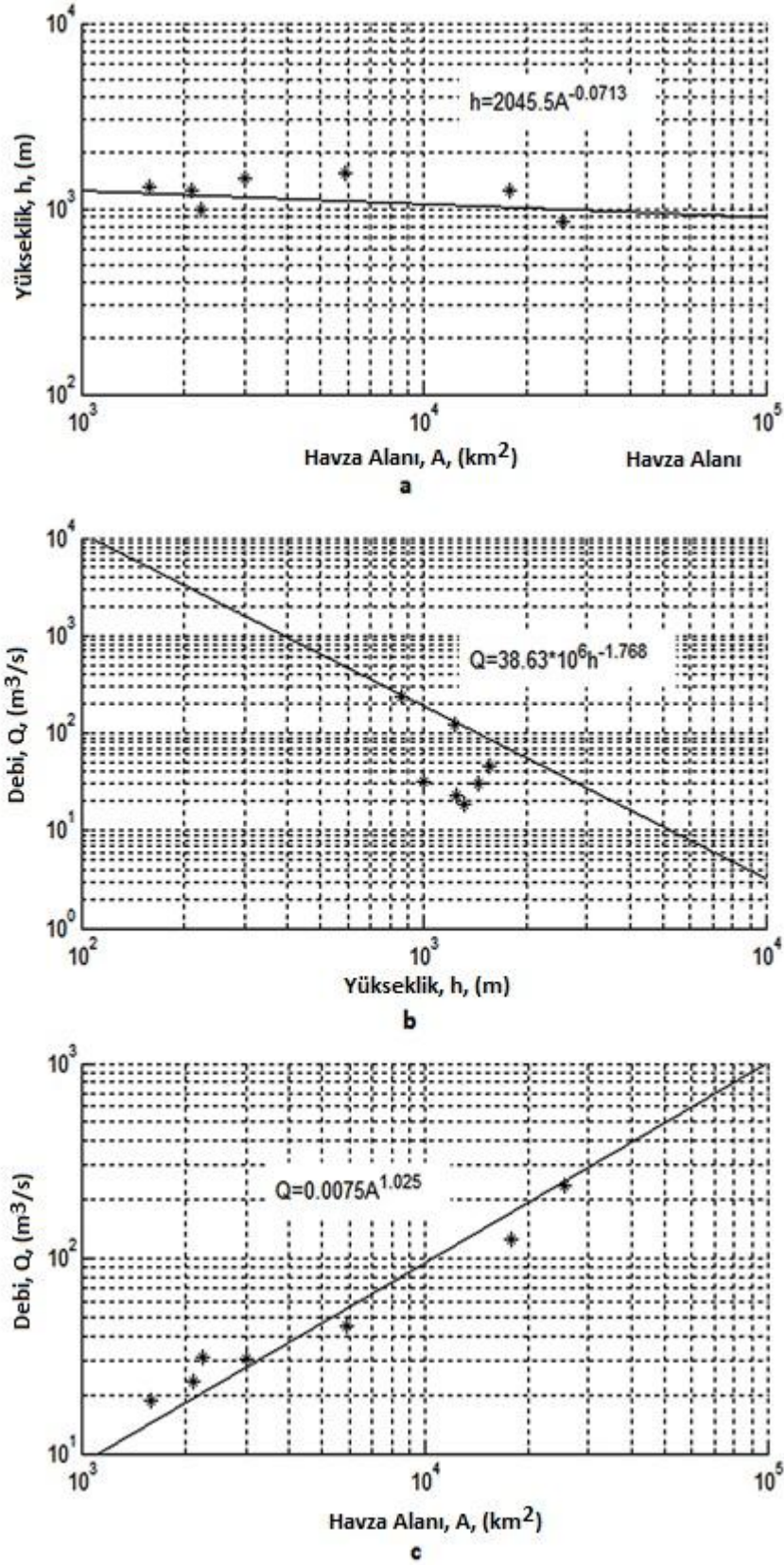
		Murat Nehri Havza Potansiyeli							
Düşü-Akım Diyagramları Yöntemi	Risk	Q _{E21A002}	Q _{E21A052}	Q _{E21A022}	h _{E21A002}	h _{E21A052}	h _{E21A022}	Güç(MW)	Enerji(GWh)
	10%	154,32	95,67	32,55	859	1241	1552	662,04	5802,78
	20%	177,36	104,93	36,85	859	1241	1552	743,01	6512,44
	30%	196,09	112,15	40,31	859	1241	1552	807,73	7079,74
	40%	213,65	118,72	43,51	859	1241	1552	867,67	7605,10
	50%	231,47	125,21	46,74	859	1241	1552	927,87	8132,74
	60%	250,79	132,05	50,20	859	1241	1552	992,40	8698,41
	70%	273,25	139,79	54,19	859	1241	1552	1066,66	9349,30
	80%	302,09	149,42	59,26	859	1241	1552	1160,89	10175,19
	90%	347,20	163,88	67,10	859	1241	1552	1306,09	11447,90
	99%	483,21	204,08	90,10	859	1241	1552	1731,41	15175,78

Çizelge 6.7 : Risk seviyelerinde güç ve enerji değerleri (EA Yöntem).

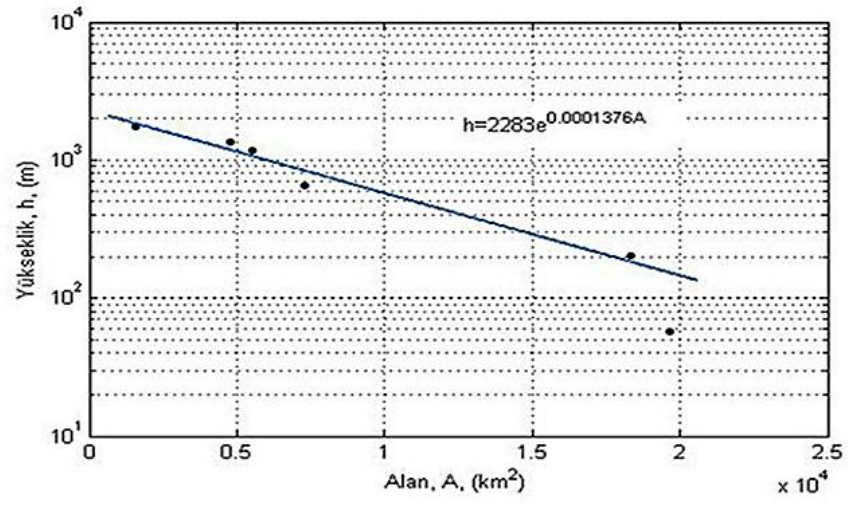
Risk	Murat Nehri Havza Potansiyeli						Güç(MW)	Enerji(GWh)
	Q _{E21A002}	Q _{E21A022}	h _{E21A002}	h _{E21A022}	Debi-Yükseklik Denklemi			
Enerji Ağacı Yöntemi	10%	154,32	32,55	859	1552	$Q=-8,594e-05 \cdot h^{1,978}+209,1$	673,83	5906,12
	20%	177,36	36,85	859	1552	$Q=-0,003882 \cdot h^{1,501}+275,6$	747,37	6550,70
	30%	196,09	40,31	859	1552	$Q=-0,05607 \cdot h^{1,173}+351,6$	815,48	7147,68
	40%	213,65	43,51	859	1552	$Q=-0,5281 \cdot h^{0,9058}+453,7$	866,07	7591,10
	50%	231,47	46,74	859	1552	$Q=-4,346 \cdot h^{0,6635}+615,8$	921,62	8078,00
	60%	250,79	50,20	859	1552	$Q=-38,81 \cdot h^{0,4275}+947,9$	982,97	8615,73
	70%	273,25	54,19	859	1552	$Q=-563,2 \cdot h^{0,182}+2200$	1056,00	9255,84
	80%	302,09	59,26	859	1552	$Q=8374 \cdot h^{-0,09743}-4034$	1134,50	9943,89
	90%	347,20	67,10	859	1552	$Q=28150 \cdot h^{-0,4734}-798,7$	1289,30	11300,71
	99%	483,21	90,10	859	1552	$Q=5,55e+06 \cdot h^{-1,324}-240,7$	1642,50	14396,51

6.3 Ölçülmüş Değerlerle Güç Hesaplanması

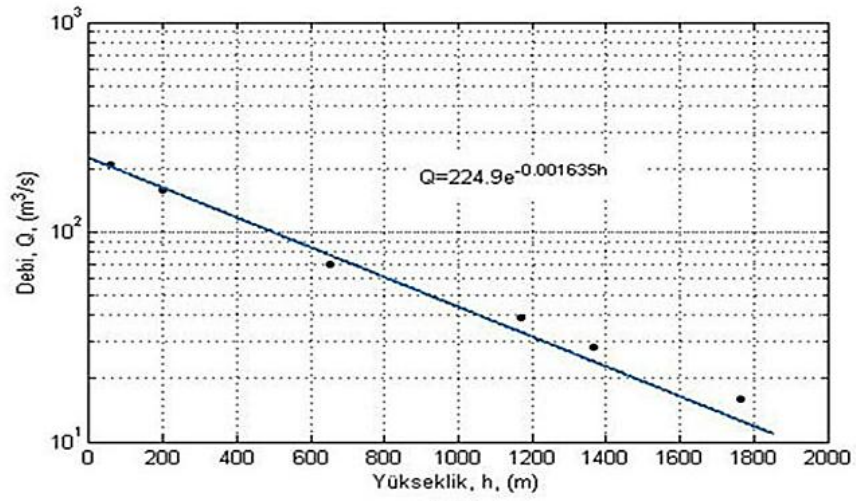
Burada aylık ortalama akış değerleri kullanılarak yıllık ortalama akış değerleri Murat, Çoruh, Kızılırmak ve Hudson nehirleri ana kol üzerinde uzun yıllar ölçüm değerlerine sahip istasyonlar için belirlenmiştir. Akım gözlem istasyonlarının havza alanı, yükseklik ve ortalama akım değerleri kullanılarak herbir nehir için havza alanı-yükseklik, havza alanı-debi ve yükseklik-debi graikleri elde edilmiştir (Şekil 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4). Havza ortalama yükseklik değerleri Denklem 5.1 kullanılarak tüm nehirler için belirlenmiştir. Daha sonra hipsografik eğriler, düşü-akım diyagramları ve enerji ağacı yöntemlerine güç potansiyelleri hesaplanmıştır. Esas olarak elde edilen debi-yükseklik grafiğinden enerji ağacı denklemi için gerekli katsayılar elde edilmiştir.



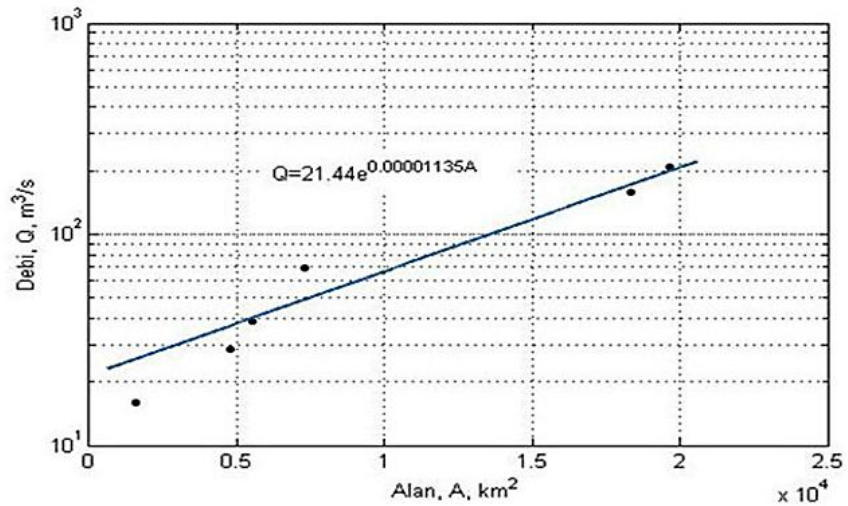
Şekil 6.1 : Murat Nehri güç ilişkileri a) Havza alanı-yükseklik b) Yükseklik-debi c) Havza alanı-debi.



(a)

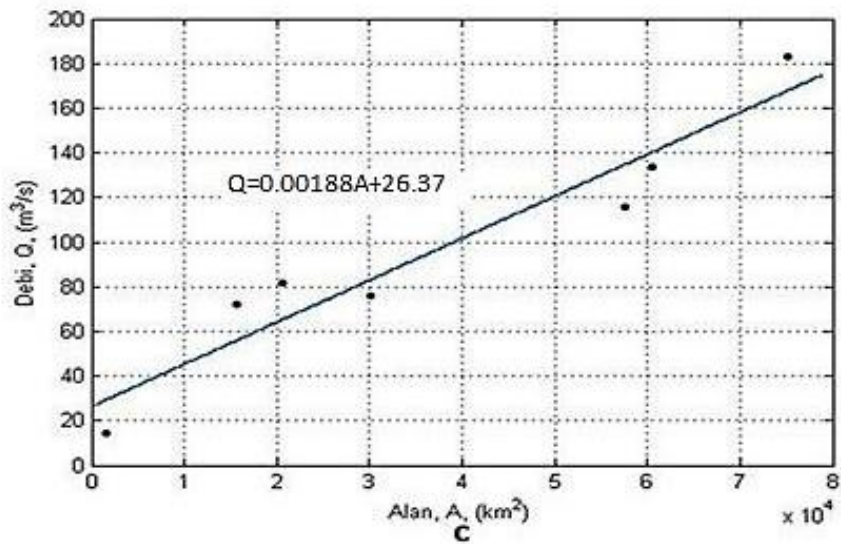
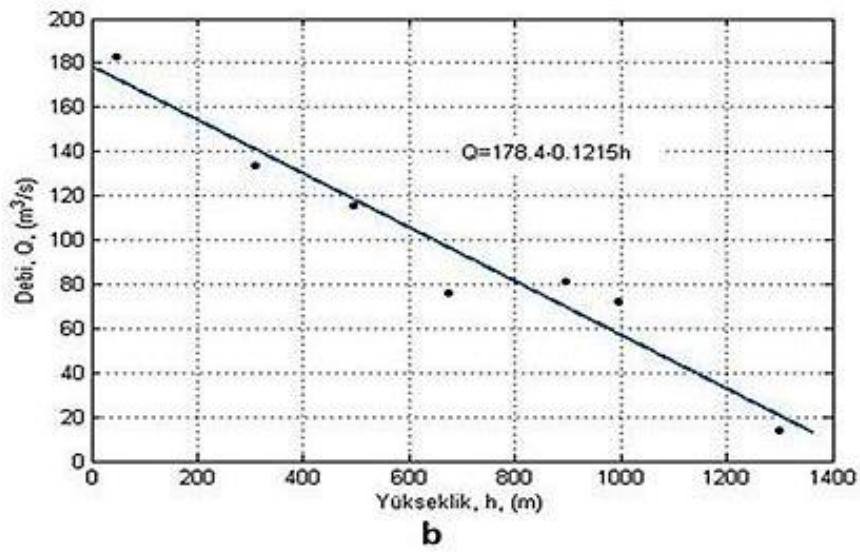
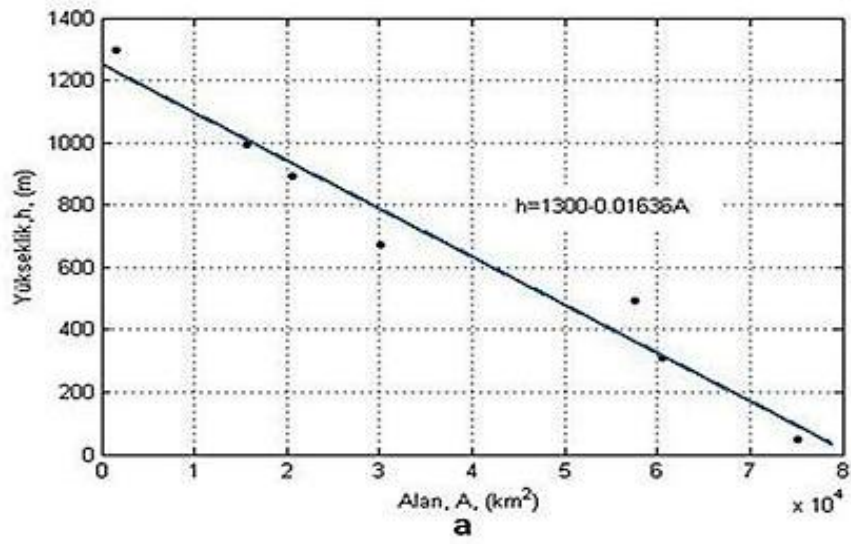


(b)

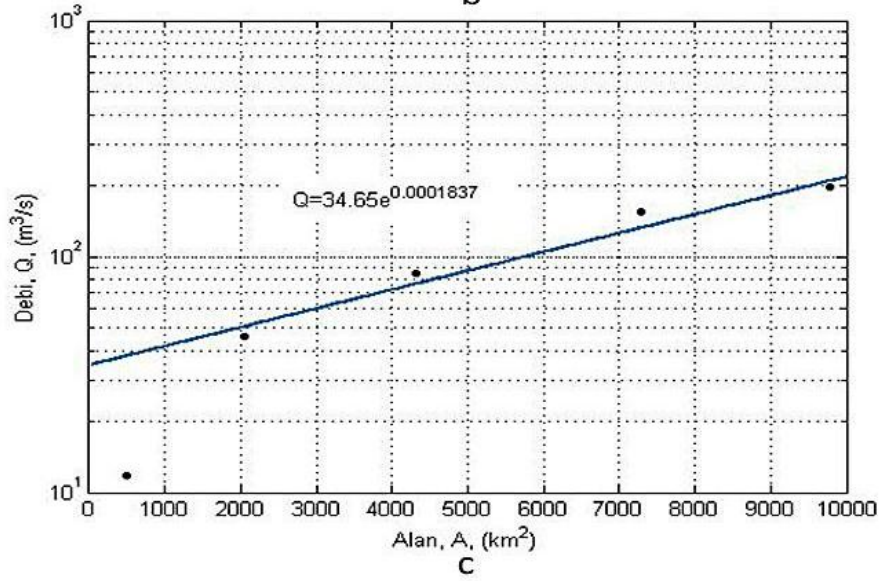
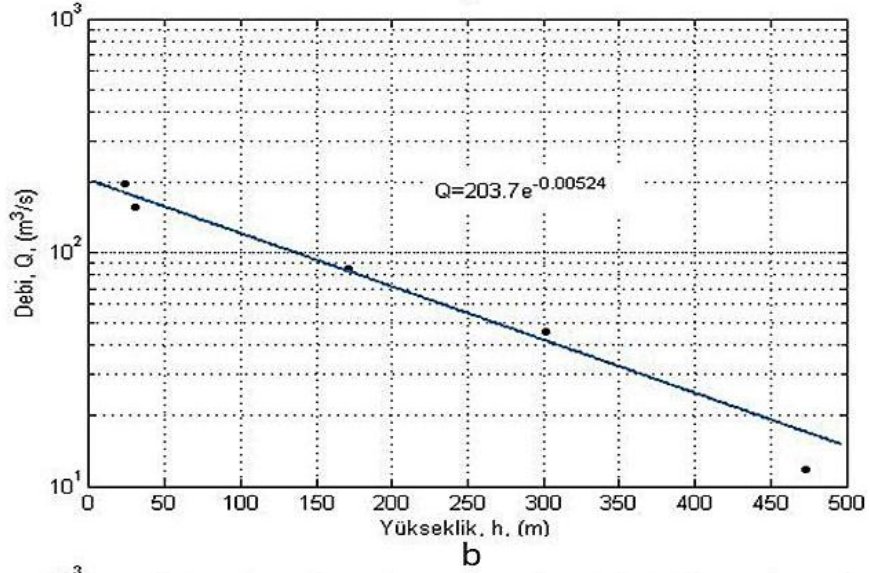
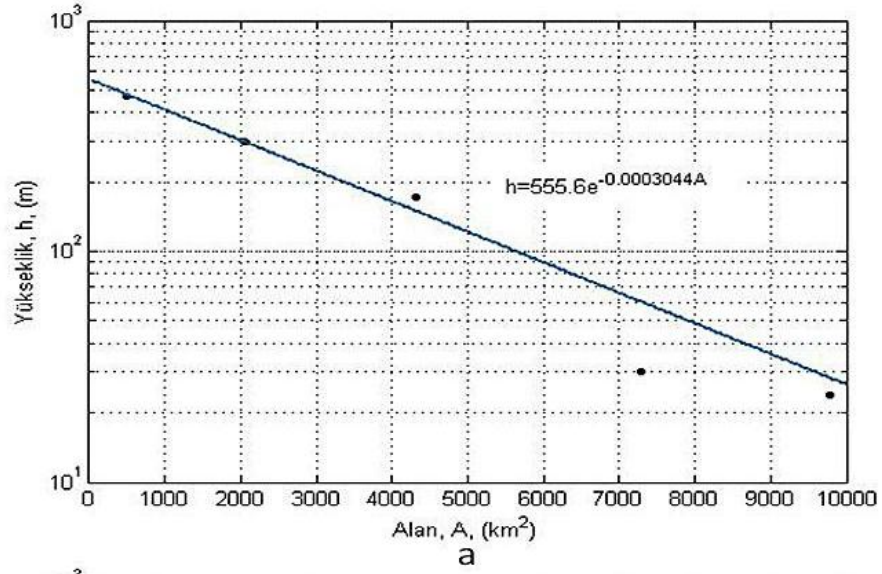


(c)

Şekil 6.2 : Çoruh Nehri güç ilişkileri a) Havza alanı-yükseklik b) Yükseklik-debi c) Havza alanı-debi.



Şekil 6.3 : Kızılırmak Nehri güç ilişkileri a) Havza alanı-yükseklik b) Yükseklik-debi c) Havza alanı-debi.



Şekil 6.4 : Hudson Nehri güç ilişkileri a) Havza alanı-yükseklik b) Yükseklik-debi c) Havza alanı-debi.

6.4 Enerji Ağacı Yönteminin Test Edilmesi “Gri Nokta” Test Yöntemi

Söz konusu yeni yöntem hesaplama adımları her ne kadar fizik ve matematik temellere dayansa da, güvenilirliği konusunda şüpheler bulunabilmektedir. Bu durum kullanışlı ve hassas olan EA yöntemine karşı bir ön yargı meydana getirmektedir. Bu olumsuzluğu gidermek için “Gri Nokta” sına (test) yöntemi diye adlandırılacak bir doğrulama testi kullanılmıştır.

Eğer varlık ve yokluğu ayrı renklerle belirleme üzerine düşünülürse, çoğunlukla siyah rengin yokluk ve beyaz rengin varlık olarak hayaledileceği aşîkârdır. Evrende boşluğun siyah ve varlıkların beyaz yansıması bu durumun nedeni olabilir. Gece gökyüzüne bakılırsa koca bir karanlık gökyüzü ve beyaz yıldızlar bunun güzel bir örneğidir. Söz konusu yöntemin bu tezde gri nokta (GN) diye adlandırılması terimin hem varlığı hem de yokluğu birlikte taşımastandır. Siyah ve beyaz renklerin birleşerek gri rengi olması gibidir. Söz konusu nokta hesaplama aşamasında siyah, test aşamasında beyaz karakterde düşünülmüştür. Hesaplama aşamasında hesaba katılmayan değişken yok sayılacak, ama test aşamasında hesaplanan değerle ilişkisinin değerlendirilmesi maksadıyla varlığı gösterilecektir. Burdaki GN yaklaşımı genel olarak modelleme çalışmalarındaki çapraz geçerlilik (cross-validation) ilkesine benzemektedir.

Hesaplamalar için Yukarı Fırat, Hudson, Kızılırmak ve Çoruh nehirleri seçilmiştir. Bu durum EA yönteminin başka bir çalışma alanlarında da denenmesini ve GN test yöntemi için yeterli veriye sahip bir çalışma alanı sağlanmasını mümkün kılmıştır. Yukarı Fırat Nehri detaylı olarak gösterilecek ve diğer nehirler tabloda özetlenecektir. Yukarı Fırat Nehri üzerinde E21A051, E21A019, E21A056 ve E21A009 nolu istasyonların ortalama yıllık debi değerleri kullanılmıştır. EA yöntemini test etmek amacıyla GN olarak, ilk durumda E21A019 ve ikinci durumda E21A056 nolu istasyonlar seçilmiştir.

Birinci durum için (E21A019):

DA diyagramları yöntemi ile;

$$P = 9.78 \times \left(\frac{146.94 - 56.26}{1355 - 865} \times (1355 - 1123) + 56.26 \right) \times (1355 - 1123)$$

$$P = 9.78 \times 99.19 \times 232 = 225.06 \text{ MW}$$

EA yöntemi ile;

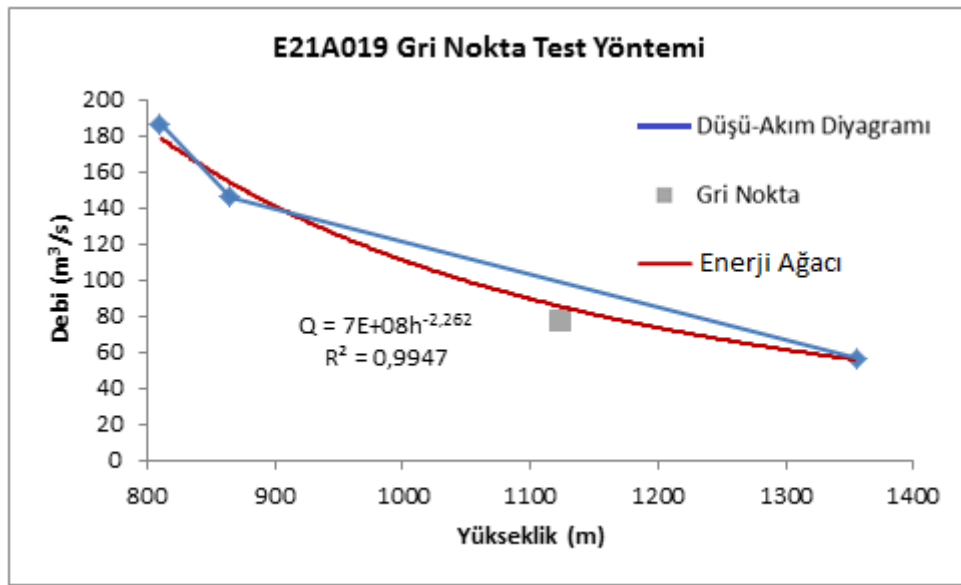
$$P = 9.78 \times (677602659,56 \times 1123^{-2.262}) \times (1355 - 1123)$$

$$P = 9.78 \times 85.31 \times 232 = 193.57 \text{ MW}$$

GN E21A019 için ise

$$P = 9.78 \times 77.48 \times 232 = 175.79 \text{ MW}$$

Değerleri elde edilir. Şekil 6.5 üzerinde de görüleceği üzere EA yöntemi daha önce GN olarak hesaba katılmayan E21A019 istasyonu için gerçek duruma daha yakın sonuçlar vermektedir.



Şekil 6.5 : E21A019 nolu istasyongri nokta test yöntemi.

İkinci durum için (E21A056):

DA diyagramları yöntemi ile;

$$P = 9.78 \times \left(\frac{186.8 - 77.48}{1123 - 810} \times (1123 - 865) + 77.48 \right) \times (865 - 810)$$

$$P = 9.78 \times 167.59 \times 55 = 90.15 \text{ MW}$$

EA yöntemi ile;

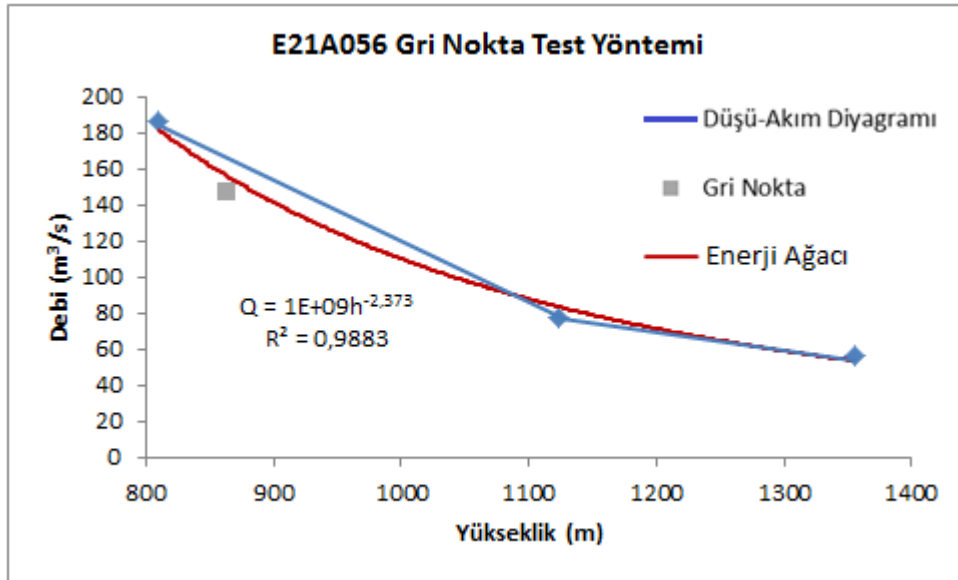
$$P = 9.78 \times (1445624158,99 \times 865^{-2.373}) \times (865 - 810)$$

$$P = 9.78 \times 155.07 \times 55 = 83.41 \text{ MW}$$

GN E21A056 için;

$$P = 9.78 \times 146.94 \times 55 = 79.03 \text{ MW}$$

değerleri hesaplanmakta ve Şekil 5.3 üzerinde görüleceği üzere EA yöntemi daha önce GN olarak hesaba katılmayan E21A056 istasyonu için gerçek duruma daha yakın sonuçlar vermektedir.



Şekil 6.6 : E21A056 nolu istasyongri nokta test yöntemi.

Benzer şekilde Çoruh, Kızılırmak ve Hudson nehirleri için GN yöntemi uygulanırsa Çizelge 6.8 elde edilir. EA yöntemi logaritmik ve yarı-logaritmik olarak hesaplanmıştır. Logaritmik ilişki üstel denklemleri yarı-logaritmik ilişki ise eksponansiyel denklemleri temsil etmektedir. Doğru olan (Lineer) ilişki zaten DA diyagramları tarafından verilmektedir. Bağlı hata miktarlarına bakıldığında Kızılırmak Nehri'nin doğru (lineer) ve Hudson ile Çoruh nehirlerinin ise yarı-logaritmik denklemleri daha iyi uyum sağladığı görülmektedir.

Çizelge 6.8 : Gri nokta test yöntemiyle yöntemlerin kıyaslanması.

Nehirler	İstasyon Sayısı	Potansiyel Güç (MW)				Bağıl Hata			
		ET (Yarı-Log)	ET (Log)	DA	HE	EA (Yarı-Log)	EA (Log)	DA	HE
Kizilirmak	7	1185,50	1124,80	1193,78	751,83	0,00	0,00	0,00	Hesaplanamaz
	6	1162,30	1131,00	1185,57		1,96	0,55	0,69	
	5	1162,90	1052,60	1203,95		1,91	6,42	0,85	
	4	1137,70	943,27	1197,09	Değişim Yok	4,03	16,14	0,28	
	3	1025,30	816,13	1120,69		13,51	27,44	6,12	
	2	824,38	427,17	1233,48		30,46	62,02	3,33	
Coruh	6	1158,30	1142,80	1199,30	999,03	0,00	0,00	0,00	
	5	1135,80	1186,60	1243,52		1,94	3,83	3,69	
	4	1082,80	1251,60	1515,39		6,52	9,52	26,36	
	3	1084,90	970,46	1521,57	Değişim Yok	6,34	15,08	26,87	
	2	1256,00	630,33	1896,56		8,43	44,84	58,14	
Hudson	5	303,35	305,77	307,10	291,02	0,00	0,00	0,00	
	4	295,15	268,90	333,43		2,70	12,06	8,57	
	3	319,10	279,86	344,80	Değişim Yok	5,19	8,47	12,28	
	2	287,83	149,24	457,54		5,12	51,19	48,99	

7. SONUÇLAR

Literatürde, hidroelektrik enerji potansiyelinin hesaplanmasına yönelik çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan hipsografik eğriler (HE) ve düşü-akım (DA) diyagramları en çok kullanılan iki yöntemdir. Son zamanlarda bu amaçla kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımlarının temel mantığı DA diyagramları yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemlerin her birinin önceki bölümlerde ifade edildiği gibi eksiklikleri mevcuttur. Bu eksiklikleri gideren ve avantajlarını koruyan, başka bir ifade ile bir akarsu havzasındaki brüt hidrolik enerjinin akarsu ve kolları boyunca kesintisiz olarak hesaplanmasına imkân veren, pahalı ve sınırlı uygulama alanına sahip olmayan yöntemlerin geliştirilmesi brüt hidroelektrik enerjinin doğru bir şekilde belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla bu çalışmada Enerji Ağacı (EA) adlı yeni bir yöntem, hidroelektrik enerji potansiyelini hesaplamak üzere geliştirilmiştir. Yöntem, ardışık iki istasyon ve bu istasyonlar arasındaki herhangi iki nokta arası için yatayda (debi-alan) ve düşeyde (debi-yükseklik) debi değişimini hesaba katmaktadır. Debinin yükseklikle değişimini de dikkate aldığından diğer yöntemlere göre daha hassas sonuç vermektedir. Ayrıca havzanın enerji potansiyelini hem yatay hem de düşey doğrultularda görülmesini sağlamaktadır ki, bu durum yöntemin görsel kabiliyetinin diğer yöntemlere göre daha fazla olduğunu göstermektedir. HE, DA diyagramları ve EA yöntemleri ile Murat, Yukarı Fırat, Çoruh, Kızılırmak ve Hudson havzasının brüt enerji potansiyeli konuma (koordinatlara) bağlı olarak başarıyla belirlenmiş ve her üç yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, EA yönteminin diğer yöntemlere göre Murat, Yukarı Fırat, Çoruh ve Hudson nehirleri için daha az bağıl hata miktarı vermiştir, bu durum sözkonusu yöntemin güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu yüzden yeni yöntemin güvenle herhangi bir havzanın brüt hidroelektrik enerji potansiyelinin belirlenmesi için kullanılabileceği söylenebilir. Kızılırmak nehri için DA yöntemi daha az miktarda bağıl hata miktarı vermiştir. Bu durum söz konusu havzanın çok çeşitli jeolojik formasyonlardan geçmesinden kaynaklanmaktadır, yani genç ve yaşlı havzaların dışbükey ve içbükey yükseklik değişimleri birbirini dengelemekte ve debi-yükseklik noktaları lineer çizgi üzerinde yoğunlaşmaktadır.. Ayrıca HE, DA

ve EA yöntemlerinden elde edilen güç değerlerinin birbirine paralel olarak risk seviyesi artışıyla arttığı görülmektedir. Risk seviyelerine göre güç miktarlarındaki değişim aralığı ET yönteminde diğer yöntemlere göre daha azdır. Bu durum ET yönteminin daha kararlı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Çalışmada Murat havzasına ait her bir istasyonun akım gözlem değerlerinin hangi dağılıma uyduğu olasılık çizgisi korelasyon ve Kolmogorov-Smirnov yöntemleri ile test edilmiştir. Anılan her iki test verilerin log-normal dağılıma uyduğunu göstermiştir. Ölçülmüş verilerin sayıca az olduğu istasyonlar için log- normal dağılım, Markov ve dalgacık yöntemleri ile her bir istasyon için aynı uzunlukta sentetik seri üretilmiştir. Elde edilen seriler kullanılarak istasyonlara ait tüm istatistik büyüklükler (ortalama, standart sapma ve çarpıklık katsayısı, değişim katsayıları gibi) elde edilmiştir. Bu istatistik büyüklükler kullanılarak söz konusu havza için kötümser, beklenen ve iyimser olmak üzere üç adet senaryo belirlenmiştir. Böylece farklı senaryolara göre akımlar ile ilgili tahminler yapılmıştır.

Çalışmada Murat Nehir havzasında bulunan tüm istasyonlar gözlenmiş değerler kullanılarak en uygun dağılım olan log-normal dağılımdan elde edilen risk seviyelerine karşılık gelen güç değerleri EA yönteminde yüksek akımlar için daha düşük ve düşük akımlar için daha yüksek değerler vermektedir. Bu durum EA yönteminin daha kararlı davrandığını göstermektedir.

Sentetik seri üretim yöntemlerinde maksimum fark pozitif ve minimum fark ise negatif olarak elde edilmiştir. Bu durum gözlenmiş serinin maksimum değerinden daha büyük ve minimum değerinden daha küçük değerleri içeren sentetik serilerin üretildiğini göstermektedir. Bilindiği üzere rastgele veya bağımsız karakterin etkili olduğu veri toplumlarında saçılma ve dolayısıyla örnek/ölçülmüş toplumdan uzaklaşma daha fazla olacaktır. Gözlenmiş değere en yakın değerler Markov zinciri yöntemiyle elde edilmiştir. Bu durum için ana etken Markov yönteminde geçiş olasılıklarının ve geçiş aralığının belirli olmasındandır. Normal dağılımda parametreler sabit, rastgele sayıların se bağımsız/değişken karakterde olmasından dolayı ölçülmüş değerlerden Markov yöntemine göre daha fazla uzaklaşılacaktır. Normal dağılım yönteminde parametreler sabit olduğundan diğer iki yöntemle göre standart sapma ve ortalama değerleri ölçülmüş değerlere daha yakındır. Dalgacık yönteminde bileşenlerine ayrılmış akım değerleri rastgele olarak toplandığından diğer iki yöntemle göre ölçülmüş değerlerden sapma daha fazla olmuştur. E21A052

ve E21A077 nolu akım istasyonlarında ölçülmüş değerler ve dolayısıyla rastgele özellik az olduğundan dalgacık yöntemi ölçülmüş değerlere yakın sonuçlar vermektedir.

Bir nehrin taşkın ve kuraklık gibi ortalamadan olan sapmalarını hesaplayan standart sapma Murat Nehir havzasında bulunan istasyonlar için log-normal, Markov zinciri ve dalgacık yöntemleri başarıyla korumuştur. Standart sapma ve ortalamayı log-normal dağılım en iyi şekilde korusa da, diğer iki yöntem de yakın sonuçlar vermektedir. Bu durum gözlenmiş akımlardan elde edilen parametrelere göre sentetik serilerin log-normal dağılım yöntemine göre belirlenmesindendir.

Sentetik ve gözlenmiş seriler arasındaki farklar değerlendirildiğinde, gözlenmiş seriye en uygun sonuçları sırasıyla Markov, dalgacık ve log-normal dağılım yöntemi vermektedir (Çizelge 4.9). Bu durum daha öncede değinildiği üzere sentetik verilerin elde edilmesinde rastgele süreçlerin kullanımıyla alakalı bir durumdur. Rastgele süreçlerin kullanımı ne kadar fazla olursa gözlenmiş ve sentetik seriler arasındaki bağımlılık o kadar azalmaktadır. Bu durum gelecek ile ilgili öngörülerde daha geniş değer aralıkları sağlamaktadır.

Murat Nehir havzasında E21A064 numaralı istasyon hariç diğer istasyonların su gücü miktarlarında kuraklık döneminde azalma ve taşkın döneminde artma meydana gelmiştir. E21A064 numaralı istasyon tüm dönemlerde azalma eğilimi göstermektedir. E21A057 numaralı istasyon sadece normal dönemlerde ve su gücü potansiyelinde dikkate değer artma eğilimi göstermiştir. Genel anlamda, havzada su gücü potansiyelinde ciddi bir değişme olmamakla birlikte, zamansal dağılımı ciddi miktarda değişmektedir. Bu durum depolamalı enerji üretim yapılarını daha önemli hale getirmektedir. Gerekli planlama çalışmaları yapılan depolamalı enerji üretim yapıları, enerji üretimi yanında suyun zamansal dağılımını düzenleyerek kuraklık ve taşkın zamanlarında gereken su dengesini sağlayacaktır. 2000 yılına kadar yapılan yönelim analizinde E21A002 nolu istasyonda maksimum akımlarda artış gözlenirken, 2011 yılına kadar yapılan yönelim analizinde söz konusu istasyonun maksimum akımlarında azalma eğilimi görülmektedir (Şekil 3.13; 3.14). Bu durum 2008 yılında su tumaya başlayan Alpaslan-1 barajının maksimum akımları düzenleme üzerindeki etkisini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Ağırlioğlu, N., v.d.** (2009). *Akım Ölçümleri Olmayan Akarsu Havzalarında Teknik Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesi*, Sonuç Raporu, Mühendislik Araştırma Grubu Proje No: 106M043, İstanbul, Türkiye.
- Aksoy, H.**, (2003). Markov chain-based modeling techniques for stochastic generating of Daily intermittent streamflows, *Advances in Water Resources*. sayı.26, 663-671
- Aksoy, H., Toprak, Z.F., AYTEK, A., Ünal, N.Ü.**, (2004). Stochastic generating of hourly mean wind speed data, *Renewable Energy*, sayı.29, 2111-2131
- Alashan, S., Toprak, Z.F., Şen, Z.** (2013). Nehir Enerji Kapasitesinin Enerji Ağacı Metodu İle Belirlenmesi, *III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, s. 323-334, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Su Vakfı, İstanbul, Türkiye.
- Alashan, S., Toprak, Z.F., Şen, Z.**, (2015). Advances of Energy Tree Method in Calculation of Gross Hydro-power Potential, *ICOCEE - Cappadocia 2015*, Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye.
- Alashan, S., Toprak, Z.F., Şen, Z.**, (2016). Hydroelectric Energy Potential of Turkey: A Refined Calculation Method, *Arabian Journal for Science and Engineering*, DOI 10.1007/s13369-015-1982-5.
- Alterach, J., Peviani, M., Davitti, A., Vergata, M.** (2008a). *Evaluation of the residual potential hydropower production in Italy*, Milano, Italy: ERSE
- Alterach, J., Peviani, M., Davitti, A., Elli, A.** (2008b). *A GIS integrated tool to evaluate the residual potential hydropower production at watercourse scale*, Milano, Italy: ERSE
- Baran, T., Durnabaş, İ.; Öziş, Ü.** (1987). Türkiye'nin su kuvveti potansiyeli, IX. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, *c.II: Su Kaynakları Mühendisliği*", s.49-63, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye.
- Baran, T.** (1987). *Türkiye'nin Güneyindeki akarsu havzalarının brüt su kuvveti potansiyeli* (yüksek lisans tezi). Adres: İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baran, T., Dalkılıç, Y., Özdemir, Y., Öziş, Ü.**, (2006). Türkiye'nin Su Kuvveti Potansiyelinin Belirlenmesindeki Aşamalar ve Gelişmeler, *10. Dünya Enerji Kongresi*, s.10-20, 10. Dünya Enerji Kongresi, İstanbul, Türkiye.
- Basmacı, E.** (2006). Su Politikaları ve Hidroelektrik Santraller [Water Politics and Hydroelectric Power Plants], *TMMOB Su Politikaları Kongresi (21-23 Mart 2006, Ankara)* [Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects- Proceedings of Congress of Water Policies Volume 1], İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, pp. 308-309

- Bayazıt, M., ve Oğuz, B.,** (1994). *Mühendisler İçin İstatistik*, Birsen Yayınevi, İstanbul,
- Bayazıt, M.,** (1995). *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, Birsen Yayınevi, İstanbul,
- Bayazıt, M., Aksoy, H.,** (2001). Using wavelets for data generating, *Journal of Applied Statistics*, sayı. 28, 157-166
- Bayazıt, M., Önöz, B., Aksoy, H.,** (2001). Nonparametric streamflow simulation by wavelet or fourier analysis, *Hydrological Sciences*, sayı. 46, 623-634
- Bozkurt, D., Sen, O.L.,** (2013). Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*. sayı.480, 149-161.
- Büyükyıldız, M., Marti, A.I., ve Yilmaz, V.** (2009). Global climate change with its reflections on Turkey' in SGEM 2009: 9th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, Vol II, Conference Proceeding-Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Antalya, Turkey, pp. 533-540.
- Carless, D. ve Whitehead, P. G.** (2013). The potential impacts of climate change on hydropower generation in Mid Waies, *Hydrology Research*, Vol. 44, No. 3, pp. 495-505
- Chowdhury, J.U., Stedinger, J.R., Lu, L.H.** (1991). Goodness-of-fit tests for regional generalized extreme value flood distributions, *Water Resources Research*, 27 (7), pp. 1765–1776
- Coskun, Ugur Alganci, Ebru Eris, Necati Agiralioglu, H. Kerem Cigizoglu, Levent Yilmaz, ve Z. Fuat Toprak** (2010), Remote Sensing and GIS Innovation with Hydrologic Modelling for Hydroelectric Power Plant (HPP) in Poorly Gauged Basins, *Water Resources Management*, 24(14), 3757-3772, DOI: 10.1007/s11269-010-9632-x.;
- Cöntürk, H., Bayar, O.** (1969). *Türkiye'nin brüt hidroelektrik potansiyeli*, E.İ.E. Bülteni, n.23. s.11-16, Ankara, Türkiye.
- Culley, M.R.ve Angelique, H.** (2010) Nuclear power: Renaissance or relapse? Global climate change and long-term three mile island activists Narratives, *American Journal of Community Psychology*, Vol. 45 No. 3-4, pp. 231-246.
- Cuya, D.G.P., Brandimarte L., Popescu, I., Alterach, J., Peviani, M.,** (2013). A GIS-based assement of maximum potential hydropower production in La Plata basin under global changes. *Renewable Energy*. sayı.50, 103-104.
- Davis, C.C., Willis, C.G., Primack, R.B., ve Miller-Rushing A.J.** (2010). The importance of phylogeny to the study of phonological response to global climate change, *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, Vol. 365 No.1555, pp. 3201–3213.
- Durnabaş, İ.** (1987). *Türkiye'nin Kuzeyindeki akarsu havzalarının brüt su kuvveti potansiyeli* (yüksek lisans tezi). Adres: İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Environmental Protection Agency** (2000). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–1998*, US EPA Report, 236-R-00-01. Washington, DC.
- Erdogdu, E.** (2011). An analysis of Turkish hydropower policy. *Renew.Sustain. Energy Rev.* 15, 689–696
- Erke, H.** (1978). Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli, *Türkiye 3. Genel Enerji Kongresi*, C.I, R.1-4-2, s.292-375., W.E.C. Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi, Ankara, Türkiye.
- Fields, P.A., Graham, J.B., Rosenblatt, R.H., and Somero, G.N.** (1993). Effects of expected global climate-change on marine faunas, *Trends in Ecology & Evolution*, Vol. 8 No.10, pp. 361-367.
- Filliben, J. J.**, (1975): The probability plot correlation coefficient test for normality, *Technometrics*,17(1), 111-117,
- Finger, D.; Heinrich, G.; Gobiet, A.; Bauder, A.** (2012). Projections of future water resources and their uncertainty in a glacierized catchment in the Swiss Alps and the subsequent effects on hydropower production during the 21st century, *Water Resources Research*, vol.48, p. W02521. doi:10.1029/2011WR010733
- Geyer, R.W., and Chant, R.** (2006). *The Physical Oceanography Processes in the Hudson River Estuary*. Levinton, J.S., and Waldman, J.R. (Editor.). The Hudson River Estuary (p. 24). New York, USA, Cambridge University Press.
- Grasso, V., Baronti S., Guarnieri, F., Magno, R., Vaccari, F.P. ve Zabini F.** (2011). Climate is changing, can we? A scientific exhibition in schools to understand climate change and raise awareness on sustainability good practices, *International Journal of Global Warming*, Vol. 3 No.1-2 pp. 129-141.
- Günek, H.**, (2006). Murat Nehri Havzasının (Fırat) Su Potansiyeli ve Değerlendirilmesi. *Eastern Geographical Review*. Sayı16, 141-164
- Harrison, G.P. ve Whittington, H.W.** (2002a). Vulnerability of hydropower projects to climate change, *IEE Proc-Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 149, No. 3, pp. 249-255
- Harrison, G.P.; Whittington, H.W.** (2002b). Susceptibility of the Batoka Gorge hydroelectric scheme to climate change, *J.Hydrol.* 264, 230–241 doi:10.1016/S0022-1694(02)00096-3
- Heo, J.-H., Kho, Y.W., Shin, H., Kim, S. and Kim, T.**, (2008) “Regression equations of probability plot correlation coefficient test statistics from several probability distributions” *Journal of Hydrology*, 355, 1-15
- International Energy Agency** (2013). *Key World Energy Statistics*, Paris, Fransa.
- Jackson, J.K., Huryn, A.D., Strayer, D.L., Courtemanch, D.L., and Sweeney, B.W.** (2005). Atlantic Coast Rivers of the Northeastern United States. Benke, A.C., and Cushing, C.E. (Editor.). *Rivers of North America* (p. 37). California, USA, Elsevier.

- Jamali, S., Abrishamchi, A. ve Madani, K.** (2013). Climate Change and Hydropower Planning in the Middle East: Implications for Iran's Karkheh Hydropower Systems, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 139, No. 3, pp. 153-160
- Kickert, R.N. ve Krupa, S.V.** (1990). 'Forest responses to tropospheric ozone and global climate change: An analysis', *Environmental Pollution*, Vol. 68 No. 1-2, pp. 29-65.
- Kirişcioğlu, O. Yazgan, E.** (1961). *DSİ Hidroelektrik Yıllığı 1960*, 63 s., Devlet Su İşleri, Ankara, Turkey.
- Kişi, Ö., Partal, T.,** (2011). Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for streamflow forecasting, *Hydrology Research*, sayı 42, 447-456
- Kişi, Ö., ve Ay, M.** (2014) Comparison of Mann–Kendall and innovative trend method for waterquality parameters of the Kizilirmak River, Turkey, *Journal of Hydrology*, 513, pp. 362–375
- Lehnera, B., Czischb, G., ve Vassolo, S.** (2005). The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis, *Energy Policy*, No. 33, pp. 839-855
- Madani, K. ve Lund, J.R.** (2010). Estimated impacts of climate warming on California's high-elevation hydropower, *Climatic Change*, No. 102, pp. 521-538
- Madani, K., Guégan, M. ve Uvo, C.B.** (2014). Climate change impacts on high-elevation hydroelectricity in California, *Journal of Hydrology*, 510, 153-163, doi: 10.1016/j.jhydrol.2013. 12.001
- Marcus, M., Demissie, M., Short, M.B., Verma, S. ve Cooke, R.A.** (2014). Sensitivity Analysis of Annual Nitrate Loads and the Corresponding Trends in the Lower Illinois River, *J. Hydrol. Eng.*, 19, pp. 533-543.
- Mendelssohn, R.O. ve Dinar, A.** (2009). *Climate change and agriculture: An economic analysis of global impacts, adaptation and distributional effects (New Horizons in Environmental Economics)*, Publisher(s): Edward Elgar Publishing Ltd, Publication date: 2009, ISBN/ISSN: 9781847206701, 246 p.
- Öziş, Ü.,** (1961). *Die Hydroenergie in der Entwicklung der Türkei*, Dissertation. 120 s., Technische Hochschule München, München, Germany.
- Öziş, Ü., Kargı, Y., Akıncı, V.** (1965). *1963 Hidroelektrik yılığı*, n.502-111-15-C/3.173 s., Devlet Su İşleri, Ankara, Turkey.
- Öziş, Ü.** (1966). Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli, *İnsaat Mühendisliği III. Teknik Kongresi*, R.II-5, 13 s, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye.
- Öziş, Ü.** (1971). *Akışlılık katsayıları vasıtasıyla ortalama ve düşük akımların tayini, güvenilir su kuvveti potansiyelinin hesaplanması*, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, MAG-206, 235 s., İzmir, Türkiye.

- Öziş, Ü., Tathoğlu, E., Baran, T.** (1985). *Türkiye'nin brüt su kuvveti potansiyelinin 1967-1980 süresindeki akışlılık değişimine göre gözden geçirilmesi*, Kısmi Araştırma Raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 22 s., İzmir, Türkiye.
- Öziş, Ü.** (1985). Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli ve enerji üretimi, 50. Kuruluş Yıldönümü, *Hidroelektrik Enerji Sempozyumu*, Tebliğler, s.1-30., Elektrik İşleri Etüd İdaresi, Ankara, Türkiye.
- Öziş, Ü.** (1991). *Su kuvveti tesislerinin planlama esasları*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Öziş, Ü., Baran, T., Durnabaş, İ., Şeker, S., Özdemir, Y.** (1998). Türkiye Akarsularının Su ve Su Kuvveti Potansiyeli, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, No. 391 (1997/5) s. 17- 26, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye.
- Sağ, E., Çavuşoğlu, A., Kirişcioğlu, O.** (1980). *DSİ Hidroelektrik Yıllığı 1959*, 108 s., Devlet Su İşleri, Ankara, Turkey.
- Şahin, A.D., Şen, Z.** (2001). First-order Markov chain approach to wind speed modelling, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, sayı 89, 263-269
- Santos, C.A.G., Silva, G.B.L.** (2014). Daily streamflow forecasting using a wavelet transform and artificial neural network hybrid models, *Hydrological Sciences Journal*, sayı 59, 312-324
- Schwartz, M.W.** (1992). Potential effects of global climate change on the biodiversity of plants, *Forestry Chronicle*, Vol. 68 No. 4, pp. 462-471.
- Shamsad, A., Bawadi, M.A., Hussin, W.M.A.W., Majid, T.A., Sanusi, S.A.M.** (2005). First and Second order Markov chain models for synthetic generation of wind speed time series, *Energy*, sayı 30, 693-708
- Sonali, P. Ve Kumar, D.N.** (2013). Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India, *Journal of Hydrology* 476, pp. 212-227
- Sen, Z.** (1999). Terrain topography classification for wind energy generation. *Renew. Energy* 16(1-4), 904-907
- Sen, Z.** (2001). Areal assessment of wind speed and topography with applications in Turkey, *Renew. Energy* 24(1), 113-130
- Şen, Z.** (2002a). *İstatistik Veri İşleme Yöntemleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul
- Şen, Z.** (2002b). *Temiz Enerji ve Kaynakları*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- Şen, Z.** (2009). *İklim Değişikliği, Yerel Yönetimler ve Sektörler*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- Sen, Z.** (2011). Turkey's water policy, national frameworks and international cooperation. In: Kibaroglu, A.; Scheumann, W.; Kramer, A. (eds.) *Water for Energy: Hydropower is Vital for Turkey*, pp. 69-82. Springer, Berlin
- Şen, Z.** (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 17, No. 9, pp. 1042-1046.

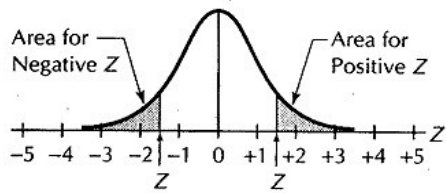
- Thompson, L.G.** (2010). Understanding global climate change: Paleo climate perspective from the world's highest mountains, *Proceedings of the American Philosophical*, Vol. 154 No. 2, pp. 133-157.
- Timbadiya, P.V., Mirajkar, A.B., Patel, P.L. ve Porey, P.D.** (2013). Identification of trend and probability distribution for time series of annual peak flow in Tapi Basin, India, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 19, No. 1, pp. 11-20.
- Toprak, ZF, Eris, E., Agiralioglu, N., Cigizoglu, H.K., Yilmaz, L., Aksoy, H., Coskun, G., Andic, G., Alganci, U.** (2009). Modeling Monthly Mean Flow in a Poorly Gauged Basin by Fuzzy Logic, *CLEAN-Soil, Air, Water*, 37(7), 555-564. DOI: 10.1002/clen.200800152.
- Toprak, Z.F., Hamidi, N., Toprak, Ş. and Şen, Z.** (2013). Climatic identity assessment of the climate change, *Int. J. Global Warming*, 5(1), 30-45.
- U.N. (E.C.E.)** (1953). *Hydroelectric Potential in Europe*, Economic Commission for Europe, E/ECE/EPE/131, Geneve, United Nations.
- U.N. (E.C.E.)** (1955). *Extension of the general study to Turkey*, Economic Commission for Europe, E/ECE/EPE/131. (Add.1), Geneve, United Nations.
- U.N. (E.C.E.)** (1968). *The hydroelectric potential of Europe's water resources*, Economic Commission for Europe, ST/ECE/EP/39, New York, United Nations.
- Url-1** <<http://www.tuik.gov.tr/>>, alındığı tarih:22.10.2015.
- Url-2** <<http://rasatlar.dsi.gov.tr/>>, alındığı tarih:12.12.2014.
- Url-3** <<http://www.mgm.gov.tr/>>, alındığı tarih:22.10.2015
- Url-4** <http://www.mfa.gov.tr/united-nations-framework-convention-onclimate-change-120_unfccc_-and-the-kyoto-protocol.en.mfa>, alındığı tarih: 01.07.2015
- Url-5** <<http://www.usgs.gov/>>, alındığı tarih: 23.06.2015
- Vicuña, S., Dracup, J.A. ve Dale, L.** (2011). Climate change impacts on two high-elevation hydropower systems in California, *Climatic Change*, No. 109, pp. 151-169
- Wang, W., Hu, S., Li, Y.,** (2010). Wavelet Transform Method for Synthetic Generation of Daily Streamflow, *Water Resour Manage*, sayı 25, 41-57
- Wilson, R.:** Capital improvement project evaluation: a hydroelectric generation economic perspective. *Int. J. Energy Res.*, 39(10), 1402–1419 (2015)
- Yapo, P., Sorooshian, S., Gupta, V.,** (1993). A Markov Chain Flow Model for Flood Forecasting, *Water Resources Research*, 29, 2427-2436
- Yuksel, I.:** Water development for hydroelectric in south-eastern Anatolia project (GAP) in Turkey. *Renew. Energy* 39, 17–23 (2012)

EKLER

EK A: Çizelgeler

EK A : Çizelgeler

Çizelge A. 1 : Normal Dağılım (z) çizelgesi

										
Z (hundredths)										
	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
Z (tenths)	TAIL AREA									
0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641
0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2297	.2266	.2236	.2207	.2177	.2148
0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1057	.1038	.1020	.1003	.0985
1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
2.9	.0019	.0018	.0017	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
3.0	.0014	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010
3.1	.0010	.0009	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008	.0007	.0007
3.2	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
3.3	.0005	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004
3.4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002
3.50 to 3.61: Area = .0002.										
3.62 to 3.89: Area = .0001.										
	Z (hundredths)									
	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
3.9	.000048	.000046	.000044	.000043	.000041	.000039	.000038	.000036	.000035	.000033
4.0	.000032	.000030	.000029	.000028	.000027	.000026	.000025	.000024	.000023	.000022
4.1	.000021	.000020	.000019	.000018	.000017	.000017	.000016	.000015	.000015	.000014
4.2	.000013	.000013	.000012	.000012	.000011	.000011	.000010	.000010	.000009	.000009
4.3	.000009	.000008	.000008	.000008	.000007	.000007	.000007	.000006	.000006	.000006
4.4	.000005	.000005	.000005	.000005	.000005	.000004	.000004	.000004	.000004	.000004
4.5	.000003	.000003	.000003	.000003	.000003	.000003	.000003	.000002	.000002	.000002
4.6	.000002	.000002	.000002	.000002	.000002	.000002	.000002	.000002	.000001	.000001
4.7	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001
4.8	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001	.000001
4.9	ZERO	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Çizelge A. 2 : Olasılık çizgisikorelasyon testi kritik korelasyon değerleri (Normal dağılım) (Filliben, 1975).

n	Level													
	.000	.005	.01	.025	.05	.10	.25	.50	.75	.90	.95	.975	.99	.995
3	.866	.867	.869	.872	.879	.891	.924	.966	.991	.999	1.000	1.000	1.000	1.000
4	.784	.813	.822	.845	.868	.894	.931	.958	.979	.992	.996	.998	.999	1.000
5	.726	.803	.822	.855	.879	.902	.935	.960	.977	.988	.992	.995	.997	.998
6	.683	.818	.835	.868	.890	.911	.940	.962	.977	.986	.990	.993	.996	.997
7	.648	.828	.847	.876	.899	.916	.944	.965	.978	.986	.990	.992	.995	.996
8	.619	.841	.859	.886	.905	.924	.948	.967	.979	.986	.990	.992	.995	.996
9	.595	.851	.868	.893	.912	.929	.951	.968	.980	.987	.990	.992	.994	.995
10	.574	.860	.876	.900	.917	.934	.954	.970	.981	.987	.990	.992	.994	.995
11	.556	.868	.883	.906	.922	.938	.957	.972	.982	.988	.990	.992	.994	.995
12	.539	.875	.889	.912	.926	.941	.959	.973	.982	.988	.990	.992	.994	.995
13	.525	.882	.895	.917	.931	.944	.962	.975	.983	.988	.991	.993	.994	.995
14	.512	.888	.901	.921	.934	.947	.964	.976	.984	.989	.991	.993	.994	.995
15	.500	.894	.907	.925	.937	.950	.965	.977	.984	.989	.991	.993	.994	.995
16	.489	.899	.912	.928	.940	.952	.967	.978	.985	.989	.991	.993	.994	.995
17	.478	.903	.916	.931	.942	.954	.968	.979	.986	.990	.992	.993	.994	.995
18	.469	.907	.919	.934	.945	.956	.969	.979	.986	.990	.992	.993	.995	.995
19	.460	.909	.923	.937	.947	.958	.971	.980	.987	.990	.992	.993	.995	.995
20	.452	.912	.925	.939	.950	.960	.972	.981	.987	.991	.992	.994	.995	.995
21	.445	.914	.928	.942	.952	.961	.973	.981	.987	.991	.993	.994	.995	.996
22	.437	.918	.930	.944	.954	.962	.974	.982	.988	.991	.993	.994	.995	.996
23	.431	.922	.933	.947	.955	.964	.975	.983	.988	.991	.993	.994	.995	.996
24	.424	.926	.936	.949	.957	.965	.975	.983	.988	.992	.993	.994	.995	.996
25	.418	.928	.937	.950	.958	.966	.976	.984	.989	.992	.993	.994	.995	.996
26	.412	.930	.939	.952	.959	.967	.977	.984	.989	.992	.993	.994	.995	.996
27	.407	.932	.941	.953	.960	.968	.977	.984	.989	.992	.994	.995	.995	.996
28	.402	.934	.943	.955	.962	.969	.978	.985	.990	.992	.994	.995	.995	.996
29	.397	.937	.945	.956	.962	.969	.979	.985	.990	.992	.994	.995	.995	.996
30	.392	.938	.947	.957	.964	.970	.979	.986	.990	.993	.994	.995	.996	.996
31	.388	.939	.948	.958	.965	.971	.980	.986	.990	.993	.994	.995	.996	.996
32	.383	.939	.949	.959	.966	.972	.980	.986	.990	.993	.994	.995	.996	.996
33	.379	.940	.950	.960	.967	.973	.981	.987	.991	.993	.994	.995	.996	.996
34	.375	.941	.951	.960	.967	.973	.981	.987	.991	.993	.994	.995	.996	.996
35	.371	.943	.952	.961	.968	.974	.982	.987	.991	.993	.995	.995	.996	.997
36	.367	.945	.953	.962	.968	.974	.982	.987	.991	.994	.995	.996	.996	.997
37	.364	.947	.955	.962	.969	.975	.982	.988	.991	.994	.995	.996	.996	.997
38	.360	.948	.956	.964	.970	.975	.983	.988	.992	.994	.995	.996	.996	.997
39	.357	.949	.957	.965	.971	.976	.983	.988	.992	.994	.995	.996	.996	.997
40	.354	.949	.958	.966	.972	.977	.983	.988	.992	.994	.995	.996	.996	.997
41	.351	.950	.958	.967	.972	.977	.984	.989	.992	.994	.995	.996	.996	.997
42	.348	.951	.959	.967	.973	.978	.984	.989	.992	.994	.995	.996	.997	.997
43	.345	.953	.959	.967	.973	.978	.984	.989	.992	.994	.995	.996	.997	.997
44	.342	.954	.960	.968	.973	.978	.984	.989	.992	.994	.995	.996	.997	.997
45	.339	.955	.961	.969	.974	.978	.985	.989	.993	.994	.995	.996	.997	.997
46	.336	.956	.962	.969	.974	.979	.985	.990	.993	.995	.995	.996	.997	.997
47	.334	.956	.963	.970	.974	.979	.985	.990	.993	.995	.995	.996	.997	.997
48	.331	.957	.963	.970	.975	.980	.985	.990	.993	.995	.995	.996	.997	.997
49	.329	.957	.964	.971	.975	.980	.986	.990	.993	.995	.995	.996	.997	.997
50	.326	.959	.965	.972	.977	.981	.986	.990	.993	.995	.995	.996	.997	.997
55	.315	.962	.967	.974	.978	.982	.987	.991	.994	.995	.996	.997	.997	.997
60	.305	.965	.970	.976	.980	.983	.988	.991	.994	.995	.996	.997	.997	.998
65	.296	.967	.972	.977	.981	.984	.989	.992	.994	.996	.996	.997	.997	.998
70	.288	.969	.974	.978	.982	.985	.989	.993	.995	.996	.997	.997	.998	.998
75	.281	.971	.975	.979	.983	.986	.990	.993	.995	.996	.997	.997	.998	.998
80	.274	.973	.976	.980	.984	.987	.991	.993	.995	.996	.997	.997	.998	.998
85	.268	.974	.977	.981	.985	.987	.991	.994	.995	.997	.997	.997	.998	.998
90	.263	.976	.978	.982	.985	.988	.991	.994	.996	.997	.997	.998	.998	.998
95	.257	.977	.979	.983	.986	.989	.992	.994	.996	.997	.997	.998	.998	.998
100	.252	.979	.981	.984	.987	.989	.992	.994	.996	.997	.998	.998	.998	.998

Çizelge A. 3 : Olasılık çizgisi korelasyon testi $1000x(1-q_r)$ değerleri (GEV dağılımı) (Chowdury ve diğ.,1991)

n	$\kappa = -0.30$	$\kappa = -0.20$	$\kappa = -0.10$	$\kappa = 0.00$	$\kappa = +0.10$	$\kappa = +0.20$
$\theta = 0.01$						
5	223	209	195	183	177	175
10	164	155	144	134	124	118
20	161	145	122	97	77	68
30	166	142	110	80	58	47
50	175	141	98	61	39	30
100	185	134	80	41	22	15
$\theta = 0.05$						
5	147	137	131	126	123	120
10	119	110	100	91	84	80
20	102	88	74	62	52	47
30	97	80	63	48	39	33
50	92	71	50	35	26	21
100	86	60	37	22	15	11
$\theta = 0.10$						
5	112	108	104	101	99	97
10	96	88	80	73	68	64
20	80	68	57	48	42	38
30	72	59	47	38	31	27
50	65	50	37	27	21	18
100	56	39	26	17	12	9

Çizelge A. 4 : Olasılık çizgisi korelasyon testi katsayı değerleri (Gamma dağılımı) (Filliben, 1975)

Skewness range	Coefficients	Significance level		
		0.01	0.05	0.10
$0.5 \leq \gamma \leq 5.0$	a	1.37000	1.73000	1.92000
	b	-0.05080	-0.08270	-0.08640
	c	0.23700	0.20700	0.19400
	d	-0.03400	-0.02000	-0.01580
	e	0.00356	0.00223	0.00166

Çizelge A. 5 : Kolmogorov-Smirnov testi kritik α değerleri

$n \backslash \alpha$	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.624	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
6	0.618	0.521	0.470	0.436	0.410
7	0.577	0.486	0.438	0.405	0.381
8	0.543	0.457	0.411	0.381	0.358
9	0.514	0.432	0.388	0.360	0.339
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
11	0.468	0.391	0.352	0.326	0.307
12	0.450	0.375	0.338	0.313	0.295
13	0.433	0.361	0.325	0.302	0.284
14	0.418	0.349	0.314	0.292	0.274
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
16	0.392	0.328	0.295	0.274	0.258
17	0.381	0.318	0.286	0.266	0.250
18	0.371	0.309	0.278	0.259	0.244
19	0.363	0.301	0.272	0.252	0.237
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	1.63	1.36	1.22	1.14	1.07
	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Sadık Alashan
Doğum Yeri ve Tarihi : Bingöl - 30/12/1981
E-Posta : sadikalashan@bingol.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2003, Dicle Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek lisans** :2011, Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik ve Su Kaynakları Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Peker İnşaat, 2004 - 2005, Şantiye Şefi
- Akşan Yapı, 2005-2006, Saha Mühendisi
- Devlet Su İşleri, 2006 - 2011, Kontrol Mühendisi
- Toprak Mahsulleri Ofisi, 2011-2013, Kontrol Mühendisi
- Bingöl Üniversitesi, 2013 -, Araştırma Görevlisi

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Alashan, S.**, Toprak, Z.F., Şen, Z., (2015).Hydroelectric Energy Potential of Turkey: A Refined Calculation Method, Arabian Journal for Science and Engineering, DOI 10.1007/s13369-015-1982-5.
- **Alashan, S.**, Toprak, Z.F., Şen, Z., (2015). Advances of Energy Tree Method in Calculation of Gross Hydro-power Potential, ICOCEE - Cappadocia 2015, Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye.
- **Alashan, S.**, Toprak, Z.F., Şen, Z., (2013).Nehir Enerji Kapasitesinin Enerji Ağacı Metodu İle Belirlenmesi, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 323-334, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Su Vakfı, İstanbul, Türkiye.

- **Alashan, S.,** Toprak, Z.F., Şen, Z.,(2013). Nehir Akım Denklemleri Yöntemiyle Eksik Akım Verilerinin Tamamlanması, VIII Ulusal Hidroloji Kongresi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye.
- **Alashan, S.,** Toprak, Z.F., Şen, Z., (2013). İklim Değişikliğinin Murat Nehri Su Gücü Potansiyeline Etkisi, 4. Su Yapıları Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası, Antalya, Türkiye.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Alashan, S.,** Toprak, Z.F., Şen, Z., (2016), A Physically Based Method for Gross Hydroelectric Energy Potential Determination in Ungauged Basins: Energy Tree (HAKEM SÜRECİNDE)