



## Measurement of turbulence parameters and effect of turbulence kinetic energy on oxygen transfer

Ömer Köse<sup>\*</sup>, Ali Has

Department of Civil Engineering, Aksaray University, Aksaray, 68100, Turkey

### Highlights:

- Turbulence statistics are measured in a shallow stream
- Effects of turbulent kinetic energy on the dissolved oxygen transfer is investigated

### Keywords:

- Streamflow turbulence parameters
- Effect of turbulence kinetic energy on the dissolved oxygen
- spectral analysis

### Article Info:

Research Article

Received: 22.05.2018

Accepted: 27.11.2018

### DOI:

10.17341/gazimmfd.425948

### Acknowledgement:

The authors would like to acknowledge the financial support received from the Aksaray University Coordination Unit for Scientific Research Projects [Project No: 2016-035] Aksaray, Turkey

### Correspondence:

Author: Ömer Köse

e-mail:

omerkose@aksaray.edu.tr

phone: +90 382 288 3578

### Graphical/Tabular Abstract

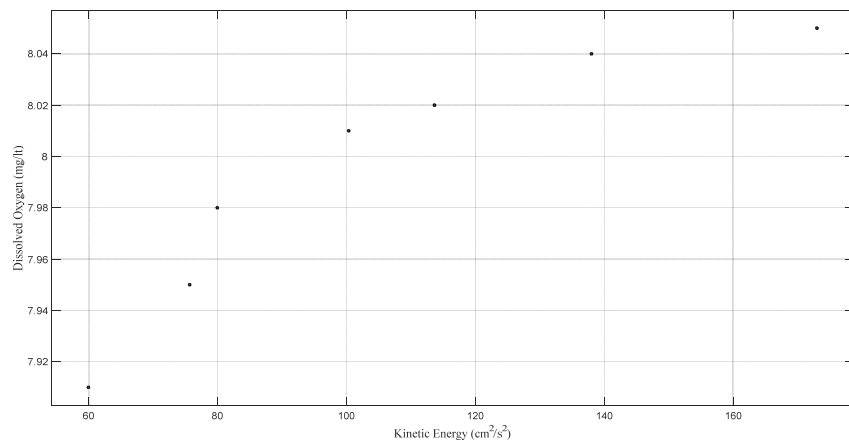


Figure A. Variation in dissolved oxygen with kinetic energy

**Purpose:** This study attempts to obtain as much data as possible very close to the bed. Using the data distribution of turbulence intensity, the Reynolds stresses for the three velocity components, integral time scales, integral length scales, and turbulence kinetic energies are calculated, interpreted along the water depth and around a boulder. Effect of turbulent kinetic energy on the dissolved oxygen concentration is investigated.

### Theory and Methods:

Measurements are conducted at the centre of a mountainous shallow river called the Melendiz River, located close to Aksaray City, Turkey. A ruler is attached into the frame to allow adjustment of the ADV in all directions at the millimetre sensitivity. The distance from the bed is checked in two ways, namely using the distance sensor of the ADV and a ruler. During the experiments, the data is sampled at a constant 100 Hz rate.

### Results:

According to the autocorrelation function results, the points close to the wake region exhibit high dependence. The spectral analysis shows that the majority of the turbulence kinetic energy is concentrated in high-period (low-frequency) structures (circulations and eddies). The spectral density plots were obtained for the downstream and upstream faces of the boulder. The spectral density graphs obtained from points very close to the bed contain more noise than those of the higher points. A -1 slope is clearly observed before the -5/3 slope of the inertial sub-range.

### Conclusion:

The distribution of turbulent kinetic energy was obtained and it is seen that TKE suddenly increases from a point very close to the bed, reaches its maximum at relative depth of 0.4, and then decreases in a fluctuating trend. The relationship between the turbulent kinetic energy and dissolved oxygen concentration was investigated and there is a high correlation between these two parameters.



## Türbülans parametrelerinin ölçümü ve türbülans kinetik enerjisinin oksijen transferine etkisi

Ömer Köse\*<sup>1</sup>, Ali Has<sup>2</sup>

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Akarsuda türbülans parametreleri
- Türbülans kinetik enerjisinin oksijen transferine etkisi
- Spektral analiz

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 22.05.2018  
Kabul: 27.11.2018

### DOI:

10.17341/gazimmfd.425948

### Anahtar Kelimeler:

Akarsu türbülans parametreleri, türbülans kinetik enerjisinin oksijen transferine etkisi, spektral analiz

### ÖZET

Sığ bir dağ akarsuyunda derinlik boyunca ve bir kaya etrafında akışın türbülans özelliklerini incelemek amacıyla sahada ölçüm çalışması yapılmıştır. Türbülans, hidrolik ve ekolojik süreçlerde önemli rol oynar. Her zaman üç boyutlu olduğundan, hesaplamalar her üç yöndeki akım değerleri için yapılmıştır. Lazer Doppler Velocimeter (LDV) ve Akustik Doppler Velocimeter (ADV) gibi yüksek çözünürlüklü hız ölçüm cihazlarının üretimini takiben dünyadaki türbülans araştırmaları hız kazanmıştır. Bu çalışmadaki ölçümler dört bileşenli bir ADV kullanılarak yapılmıştır. Sapınç (çalkantı) hızları, varyanslar, kök ortalama kareleri, türbülans şiddetleri, Reynolds gerilmeleri, integral zaman ölçekleri, integral uzunluk ölçekleri ve türbülans kinetik enerji dağılımları, su derinliği boyunca ve bir kayanın çevresinde hesaplanarak yorumlanmıştır. Ayrıca korelasyon ve spektral yoğunluk fonksiyonları hazırlanmış ve türbülans çevrintilerinin yaklaşık boyutları hesaplanmıştır.

## Measurement of turbulence parameters and effect of turbulence kinetic energy on oxygen transfer

### H I G H L I G H T S

- Streamflow turbulence parameters
- Effect of turbulence kinetic energy on the dissolved oxygen
- Spektral analysis

### Article Info

Research Article  
Received: 22.05.2018  
Accepted: 27.11.2018

### DOI:

10.17341/gazimmfd.425948

### Keywords:

Stream turbulence parameters, effect of turbulence kinetic energy on dissolved oxygen transfer, spectral analysis

### ABSTRACT

A field study was conducted to examine the turbulent characteristics of the flow around a boulder in a shallow mountain stream. Turbulence plays an important role in hydraulics and ecological processes. Since turbulence is always three-dimensional, all calculations were conducted for each of the three directions. Turbulence research has accelerated following the production of high-resolution capacity measurement devices such as the Laser Doppler Velocimeter (LDV) and Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). The current experiments were conducted using a four-component ADV. The fluctuating velocities, variances, root mean square values, turbulence intensities, Reynolds stresses, integral time scales, integral length scales, and vertical distributions of turbulent kinetic energies were calculated and interpreted along the water depth and around the boulder. Correlation and spectral density functions were prepared, and the approximate sizes of the turbulent eddies were calculated. A relatively novel aspect of this research is the highlighting and determination of the relationship between turbulent kinetic energy and dissolved oxygen concentration.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: omerkose@aksaray.edu.tr, hasali042@gmail.com / Tel: +90 382 288 3578  
2160

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğada ve laboratuvar uygulamalarında görülen akımlar genellikle türbülanslıdır. Düşük Reynolds sayısına sahip akımlar sadece laboratuvarlarda gözlemlenir. Akarsu ve kanallardaki tüm akımlar türbülanslıdır, akarsu ortamlarında yürütülen türbülans araştırmaları, laboratuvar çalışmalarına kıyasla sayıca azdır. Laboratuvar da debi, su derinliği, kanal özellikleri, sıcaklık ve kanal taban malzemesi gibi önemli girdilerin hepsi kontrol altındadır, gerekli tüm ölçüm cihazları kolayca monte edilebilir ve çalıştırılabilir, ancak nehir ortamında, ortama uygun özel deney düzeneklerinin tasarlanması gerekli olup hiçbir parametre kontrol edilebilir veya öngörülebilir değildir; bu nedenle laboratuvar çalışmalarının gerçek doğal akım koşullarına göre ölçeklendirmenin zorluğu önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüze kadarki çalışmalar evrensel logaritmik hız fonksiyonu da dahil olmak üzere türbülans çalışmalarına önemli katkılarda bulunmuştur. Türbülanslı akışın belirgin özelliği, düzensizliği ve yüksek Reynolds sayılarıdır [1-3] Türbülans çalışmalarını açısında laboratuvar ve akarsu içinde yapılan çalışmaları karşılaştırdığımızda, akarsu ortamlarındaki türbülans yapısı hakkında daha az bilgiye sahibiz [4]. Akarsu akımı üstte serbest yüzey, aşağıda ise nehir tabanı tarafından düşey olarak, akarsu veya kanalın genişliği tarafından ise yatay olarak sınırlanır. Nehir akışları genellikle, genişlik/su derinliği oranının yüksekliği bakımından karakterize edilirken, laboratuvarlardaki kanallar tipik olarak çok daha düşük genişlik/derinlik oranlarına sahiptir. Bu fark, bir laboratuvar kanalında veya akarsu ortamında, akımın türbülans karakteri bakımından, önemli farklılıkların kaynağını oluşturmaktadır. Bu farklılıklar, laboratuvar ortamındaki çalışmalarla elde edilen amprik veya teorik ilerlemelerin, daha büyük ölçeklere taşınarak (up-scaling) akarsu ortamlarında test edilip, doğrulanması ve daha ileriye götürülmesi bakımından bazı güçlülüklerin kaynağını oluşturmaktadır [5, 6] nehir akışlarındaki türbülansın

önemini vurgulamak üzere araştırmalar yürütmüştür, çalışmada laboratuvar kanalının bir yatak profili boyunca akımın türbülans özellikleri üzerinde deneysel bir çalışmanın sonuçları verilmiştir; yukarıda verilen çalışmada, yatak profili boyunca, türbülans yoğunluklarının büyüklüğü gözlenmiş, kayalar ile balık habitanının etkileşimine yoğunlaşmış ve bir kaya dizisi etrafındaki ortalama ve türbülanslı akışlar üzerinde ayrıntılı ölçümler yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen profiller [7] de daha önce bildirilen yarı deneysel denklemlerle karşılaştırılmıştır. [8] 'de, akarsu ortamında doğal olarak oluşmuş taşlardan oluşan bir küme etrafındaki akışın türbülans özellikleri araştırılmıştır. [9] 'da kontrolsüz bir akış ortamında elde edilen veriler, son araştırmalarla karşılaştırılmıştır. Mühendislik projelerinin nehir ortamı üzerindeki etkisi, çevrıntiler ve türbülans bağlamında araştırılmalıdır, çünkü türbülansın neden olduğu girdaplar ve çalkantılar nehir ortamlarında besin transferinde önemli bir rol oynamakta, bu durum balıkların ve benzer canlıların kinematiğini etkilemektedir [10]. Bu araştırmanın temel amacı, türbülans parametrelerinin akarsu derinliği boyunca tabandan su yüzeyine kadar ve akarsu içinde bir kaya etrafında akıma paralel ve dik doğrultularda nasıl değiştiğini göstermektir. Türbülans kinetik enerji değerleri, integral zaman ölçeğinin değişimi, üç eksenindeki ortalama ve çalkantı hızlarının bir kaya etrafında değişimi derinlik boyunca hesaplanıp yorumlanmış ve literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın başka bir amacı da türbülans kinetik enerjisi ile çözünmüş oksijen konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi belirlemektir.

## 2. SAHA ÖLÇÜMLERİ (FIELD MEASUREMENTS)

Ölçümler, konum olarak İhlara Vadisi çıkışında bulunan Melendiz Irmağı'nda gerçekleştirilmiştir. Irmağın memba tarafında baraj veya herhangi bir hidrolik yapı mevcut değildir. Akım kontrolsüz olup bu nedenle çözünmüş oksijen konsantrasyonunu yapay olarak etkileyecek herhangi bir oluşum mevcut değildir. Şekil 1'de ölçüm bölgesinin uydu



Şekil 1. Ölçüm bölgesinin konumunun uydu görüntüsü (Satellite image of the experiment location)

görüntüsü verilmiştir. ADV cihazının monte edildiği platform Şekil 2'de sunulmuştur.

Veriler dört bileşenli bir ADV kullanılarak toplanmıştır. Ölçümlerde kullanılan ADV'nin teknik özellikleri cihazın kullanma kılavuzuna göre, hız ölçümleri  $\pm 0,01, 0,1, 0,3, 1, 2$  ve  $4 \text{ m/s}$  aralığında; maksimum çıkış örnekleme frekansı  $200 \text{ Hz}$ ; ölçüm hassasiyeti, ölçülen değer  $\pm 0,5\% \pm 1 \text{ mm/s}$ ; verilerin alındığı örnek hacim sensörün  $5 \text{ cm}$  aşağısında olup örnekleme hacminin çapı  $6 \text{ mm}$ 'dir ve örnek hacim yüksekliği kullanıcı tarafından ayarlanabilir olup  $3-15 \text{ mm}$ 'dir. Kullanıcı kılavuzuna göre  $25 \text{ Hz}$ 'de Doppler gürültü belirsizliği, hız aralığının  $\%1$ 'i düzeyindedir. ADV, her üç yönde de harekete izin veren bir çerçeve üzerine monte edilmiştir. ADV'nin milimetrik hassasiyette her yönde ayarlanabilmesi için çerçeveye bir cetvel yerleştirilir. ADV'nin akarsu tabanından olan uzaklığı hem cetvel, hem de cihazın sensörü kullanılarak ölçülmüştür.

Doppler gürültü seviyesindeki ani artışların örnekleme frekansının artırılmasıyla çoğaldığı gözlenmiştir. Farklı sürelerde ön ölçümler yapılmış olup  $1$  dakikalık bir ölçüm süresinde  $100 \text{ Hz}$  örnek toplama frekansıyla altı bin adet veri toplandığı görülmüş, bu sayıdaki veri adedinin ölçüm noktasının karakteristiğini yansıttığı sonucuna varılmıştır, ADV'nin monte edildiği çerçeve plastik, yuvarlak, çok ince, aerodinamik ayaklara sahip olup, ADV sensörlerinin bulunduğu problemler ile çerçeve ayakları arasında akımı etkileyecek herhangi bir etkileşim gözlenmemiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi ADV bir kablo ile bilgisayara bağlı olarak çalışmaktadır. Arazi ortamında kesintisiz veri toplanabilmesi için gerekli sayıda güç kaynağı hazır bulundurulmuştur. Cihaz kullanım kılavuzu, örnekleme kalitesi ile ilgili iki önemli parametre vermiştir. Bunlar sinyal-gürültü oranı (SNR) ve korelasyon (COR)

parametreleridir. SNR için kriter olarak kullanım kılavuzunun tavsiyesine uyarak  $15$  değeri alınmıştır ve korelasyon kriteri olarak da minimum  $\%70$  değeri alınmıştır. İlk olarak, düşük COR ve SNR skor değerleri elenmiş olup diğer analizler bu minimum kriteri sağlayan seriler kullanılarak yapılmıştır.

Son yıllarda, ADV ayrıca sediment konsantrasyonu ve tanecik büyüklüğü dağılımını tahmin etmek için de kullanılmaktadır. ADV sinyal dönüş verisi sediment konsantrasyonu ve tanecik büyüklüğü ile deneysel olarak ilişkilidir, bu değerler akustik dalga boyu değerleriyle boyutsuzlaştırıldığında sediment büyüklükleri ile bağıntılı geçiş katsayıları elde edilmektedir. [11].

Cihazın maksimum örnekleme kapasitesi  $200 \text{ Hz}$  olmasına rağmen, bu çalışmada, veriler  $100 \text{ Hz}$  örnekleme frekansıyla toplanmıştır, yani saniyede  $100$  adet üç boyutlu hız verisi kayda alınmıştır. Çok yüksek örnekleme frekanslarında çok yüksek sinyal gürültüsünün gözlemlendiği tespit edilmiş olup, verilerin sağlıklı toplanması açısından  $100 \text{ Hz}$  örnek alım frekansının uygun olacağı düşünülmüştür. Böylece Nyquist frekansı değeri  $50 \text{ Hz}$ 'dir. Her bir hız bileşeni için, hız zaman serilerini aykırı değerlerden arındırmak amacıyla, faz-uzay filtre algoritması kullanılmıştır. Bu yöntem, maksimum tanecik ivmelenmesinin belli bir maksimum değerinin olması gerektiği fiziki prensibine dayanmaktadır [12]. Ham veriler filtreledikten sonra, yapılan istatistiksel analizlerle, işlenmiş serilerin normal dağılıma uygun olduğu görülmüştür. Ölçümler boyunca, esas olarak iki tip veri kümesi toplanmıştır: Birinci grup, kaya olmayan bir bölgede, derinlik boyunca toplanan verileri içermektedir. İkinci grup veri ise akarsu içindeki bir kaya etrafında menba, mansab ve akım yönüne dik doğrultularda  $10 \text{ cm}$  aralıklarla toplanan hız verilerini içermektedir.



Şekil 2. Verilerin ADV ile toplanıp bilgisayara kaydedilmesi (Sampling of data via ADV)

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Derinlik Boyunca Ortalama Hız Dağılımı (Mean Longitudinal Velocity Distribution along Water Depth)

Derinlik boyunca, yakın aralıklarla hız verilerinin ölçümü yapılmıştır, hızlar x, y, z yönleri için sırasıyla akım yönüne paralel, akım yönüne dik ve akım düzlemine dik düşey yönleri göstermektedir. Her bir ölçüm noktasında bir dakika boyunca kaydedilen hızların ortalaması o derinlik için temsili hız değeri olarak alınmıştır, analizlere yüksek gürültü seviyeleri nedeniyle tabana yakın hız verileri dahil edilmemiştir.  $0 \leq z/h \leq 0,2$  ölçüm aralığında pürüzsüz ve tamamen pürüzlü açık kanallarda, akım doğrultusundaki ortalama hız değerlerinin logaritmik hız profil değerine uygun olarak değişim gösterdiği yaygın olarak kabul görmüştür [13]. Türbülanslı akış için log-yasası Eş. 1 ile aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{zu_*}{\nu} + B \quad (1)$$

Burada  $u_*$  kayma gerilmesi hızıdır,  $\kappa$  Von Karman sabiti,  $\nu$  kinematik viskozite, B integrasyon sabiti, z ölçüm yapılan noktanın akarsu tabanından uzaklığıdır. Ayrıca  $\bar{u}$  ölçüm yapılan derinlikteki yerel hızın zamansal ortalamasıdır. Uniform akım için, ana ölçeklendirme parametreleri kayma hızı ve akım derinliği şeklindedir. Hem ortalama hem de türbülans istatistikleri bu iki ölçekle normalize edilebilir [14].  $u_*$  değişkeni, ölçülen hız verilerinin regresyon analizinden hesaplanır. Eş. 1'in türevi alınmak suretiyle  $u_* = 7,10 \text{ cm / s}$  olarak hesaplanmıştır. Daha önce [15] tarafından laboratuvar ortamında, trapez bir kanalda, kararlı akım koşullarında yapılan deneyde  $u_* = 9 \text{ cm / s}$  olarak hesaplanmıştır, u, v ve w hızlarının, düşey doğrultuda akarsu tabanından itibaren derinlik boyunca hesaplanan hız değerleri, sırasıyla x, y ve z yönleri için Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, v ve w hız

bileşenleri neredeyse düşey olup logaritmik hız profiline uymamakta, buna karşın akıma paralel hız bileşeni u'nun derinlikle değişimi logaritmik hız formuna uygunluk göstermektedir.

#### 3.2. Derinlik Boyunca Türbülans Kinetik Enerjisinin ve İntegral Zaman Ölçeğinin Dağılımı (Distributions of Turbulent Kinetic Energy and Integral time scale along Water Depth)

Türbülans karmaşık üç boyutlu bir süreçtir. Türbülans çalkantı (sapınc) hızları sırasıyla x, y ve z yönleri için  $u', v', w'$  sembolleriyle gösterilir, u anlık hız bileşeni için çalkantı hızı Eş. 2 ile verilmiştir.

$$u' = u - \bar{u} \quad (2)$$

Burada  $u', u, \bar{u}$  sırasıyla, çalkantı hızı, anlık hız ve zamansal ortalama hız değerleridir. Eş. 2 x yönü için gösterilmiştir, ancak y ve z yönleri için de aynı şekilde ifade edilebilir. Ortalama zaman aralığındaki ortalama kare farkına varyans denir.

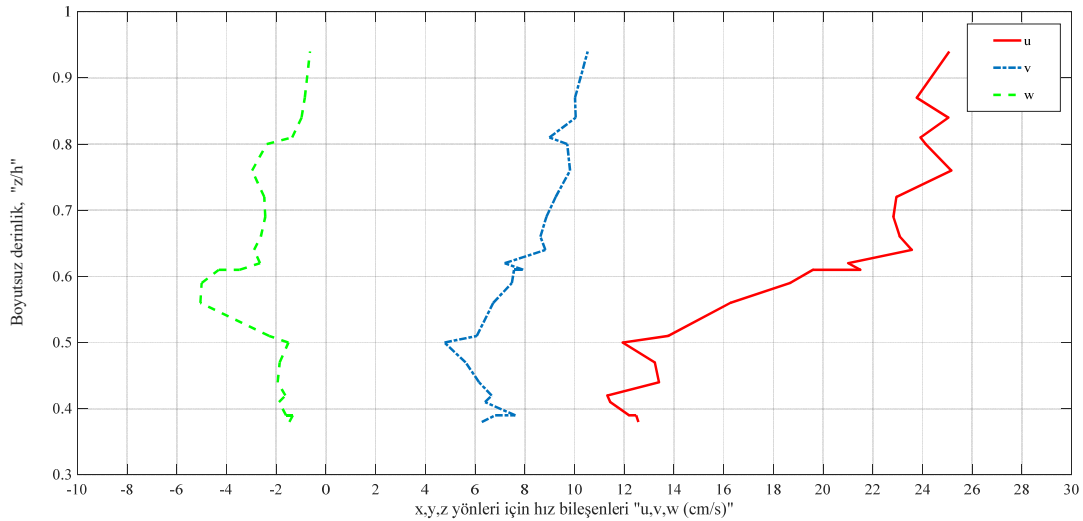
$$s^2 = \overline{u'^2} \quad (3)$$

Varyansın kareköküne kök ortalama karesi, hız dalgalanması veya türbülans şiddeti denir. x, y ve z yönleri için türbülans şiddeti Eş. 4 ile verilmiştir.

$$TI_x = (\overline{u'^2})^{1/2}, TI_y = (\overline{v'^2})^{1/2}, TI_z = (\overline{w'^2})^{1/2} \quad (4)$$

Türbülans kinetik enerji değerleri birim kütle başına Eş. 5'de (TKE) şeklinde verilmiştir.

$$TKE = \frac{1}{2} [\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}] \quad (5)$$



Şekil 3. x, y ve z yönleri için hızın boyutsuz derinlik boyunca dağılımı  
(Vertical distributions of velocity in x, y, and z directions without the boulder)

[13] tarafından derinlik boyunca ve x,y,z yönleri için türbülans şiddetinin ve türbülans kinetik enerji değerinin değişimi Eş. 6, Eş. 7, Eş. 8 ve Eş. 9 ile verilmiştir.

$$TI_u = au_* \exp[-Cz/h] \quad (6)$$

$$TI_v = bu_* \exp[-Cz/h] \quad (7)$$

$$TI_w = cu_* \exp[-Cz/h] \quad (8)$$

$$TKE = du_*^2 \exp[-2Cz/h] \quad (9)$$

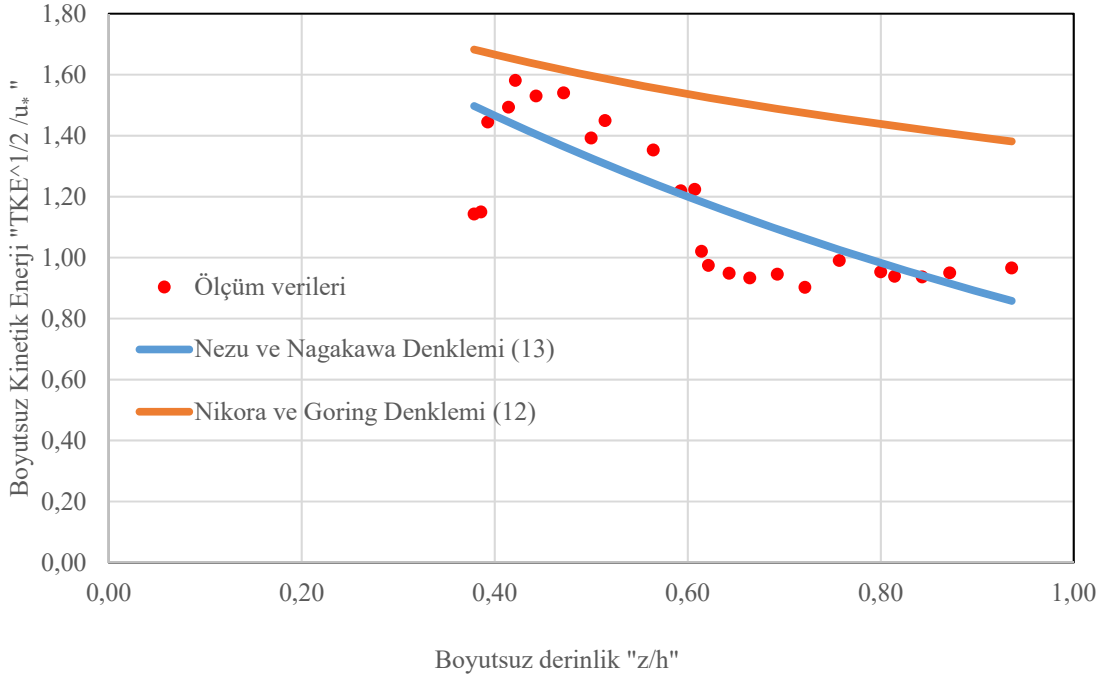
Burada,  $TI_u$ ,  $TI_v$ , ve  $TI_w$  sırasıyla, x,y,z yönlerindeki türbülans şiddetleridir. Nezu ve Nakagawa [13], türbülans şiddeti ve TKE için standart k-ε türbülans modelinden elde edilen denklemleri çıkarmış ve (Eş. 6-9) eşitlikleri için şu katsayı değerlerini önermiştir;  $a = 2,30$ ,  $b = 1,27$ ,  $c = 1,63$  ve  $d = 4,78$  [5] açık dikdörtgen bir kanalda yaptıkları deneylerde, kanalın orta düşey kesitinde türbülans şiddeti katsayılarını  $a = 2,24$ ,  $b = 0,50$  ve  $c = 0,93$  olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada, yapılan deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak, aynı denklemler için  $a = 2,10$ ,  $b = 0,813$  ve  $c = 0,37$  katsayı değerleri bulunmuştur. Derinlik boyunca düşey doğrultudaki türbülans kinetik enerji dağılımını belirlemek için [12] tarafından Eş. 10 önerilmiştir.

$$TKE = u_*^2 1,84 - 1,02 \ln(z/h) \quad (10)$$

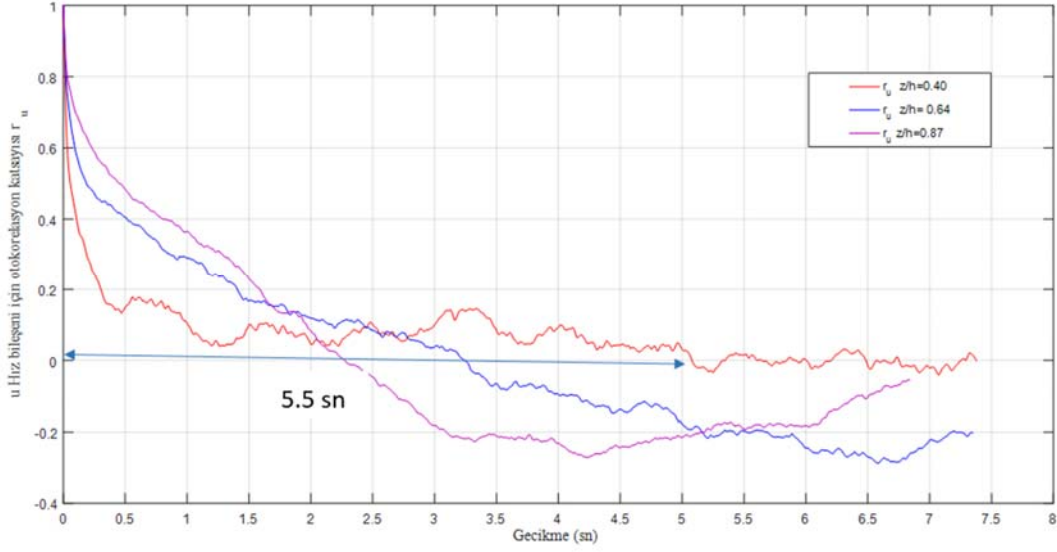
Şekil 4, bu çalışmaya ait deneysel verilerin [12, 13] tarafından önerilen iki evrensel denklemin sonuçları ile

karşılaştırıldığı, kayma gerilmesi hız değeri ile normalize edilmiş TKE'nin boyutsuz dağılımını göstermektedir. Veriler akarsuyun orta bölümünde toplanmış olup, ölçüm yapılan bölgenin tabanı kumludur. Şekil 4'te gösterildiği gibi, deneysel veriler [13] denklemi ile daha uyumlu bir görüntü vermektedir.

Şekil 4 incelendiğinde, türbülans kinetik enerji değerinin toplam derinliğin yaklaşık %40'ında maksimum değere sahip olduğu görülmektedir, daha sonra derinlik boyunca türbülans kinetik enerji değeri, belli bir maksimum değere ulaştıktan sonra dalgalanarak düşey yönde azalmıştır. Bu bulgu, [16] 'da verilen sonuçlarla da örtüşmekte olup, kinetik enerjinin başlangıçta yataktan uzaklaştıkça hızla arttığını, daha sonra yüzeye yaklaştıkça azaldığını ve bu farkın hız ve momentum farklarından kaynaklandığı söylenebilir. Bu çalışmada, çevrıntiler gibi bağımlılık gösteren uyumlu yapıların periyodik özelliklerini tespit etmek için otokorelasyon analizi uygulanmıştır. Otokorelasyon bir zaman serisinin herhangi bir zaman aralığındaki değeri ile, bir önceki veya sonraki (gecikme) zaman değeri arasındaki korelasyonu göstermektedir, otokorelasyon katsayısı  $r_u$  sembolüyle ifade edilmiştir. Türbülansın neden olduğu girdaplar, akarsu ortamında beslenme transferinde önemli bir rol oynamakta ve balıkların kinematığını etkilemektedir. Otokorelasyon analizi, zaman serisinin ardışık değerleri arasındaki korelasyonu tanımlar. Taylor'un türbülans hipotezini [17] kullanarak, hız çalkantı verilerinden oluşan serilerin otokorelasyon analizi, periyodik bir yapının varlığı gibi, tekrarlanan çevrıntıleri tanımlamak için yararlı bir araç olarak kullanılabilir. Şekil 5' de akıma paralel yöndeki hız



Şekil 4. Türbülans kinetik enerjisinin derinlik boyunca dağılımı  
(Distribution of turbulence kinetic energy along depth without the boulder)



**Şekil 5.** x-doğrultusundaki farklı derinliklerdeki noktalar için otokorelogram  
(Autocorrelation for points at different depths in x-direction without the boulder)

bileşenine ait, üç farklı derinlikte ölçülen hız zaman serilerinin otokorelogramları verilmiştir, ölçüm alınan noktaların birisi tabana yakın, diğeri toplam su derinliğinin yaklaşık olarak ortasında, diğeri ise yüzeye yakın bir noktada bulunmaktadır. Şekilden net olarak görüldüğü gibi, tabana yakın  $z=5,5$  cm derinliğinde ölçülen hız değerlerine ait seri diğerlerine göre daha büyük bağımlılık göstermektedir, bu durum, bu derinlikte oluşan çevrintilerin daha büyük periyotlara sahip oldukları anlamına gelir,  $z = 12,2$  cm derinliğindeki hız verilerinden elde edilen korelogram kısa sürede sıfır eksenini kesmiştir. Bu durum daha az bağımlı bir yapı ve küçük boyutlu çevrintilerin varlığına işaret etmektedir. Akım yönüne paralel, akım yönüne dik, akım yüzeyine dik eksenler etrafında oluşan çevrintilerin periyot olarak büyüklükleri [17]'de belirtildiği gibi, integral zaman ölçeği olarak isimlendirilir ve otokorelogram eğrisinin sıfır eksenini kesene kadarki kısmının nümerik olarak integralinin alınmasıyla bulunur. Bu işlem Eş. 11 ile verilmiştir.

$$T = \int_0^t r(\Delta t) dt \quad (11)$$

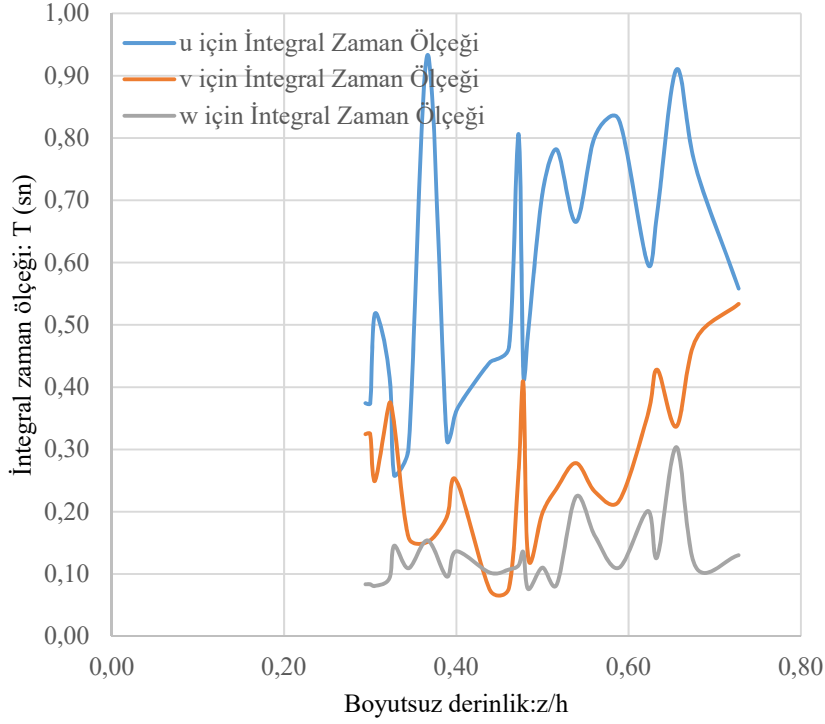
T değişkeninin türbülans çalışmaları için fiziksel bir anlamı vardır: T, [18] 'de girdapların zamansal ölçeğinin bir göstergesi olarak tanımlanır. Baskın çevrinti periyodunun tahmin edilmesi için, [16] tarafından şu yöntem önerilmiştir: ilgili otokorelasyon çizimindeki sıfır kesiminden sonraki ilk pozitif tepelik ile sıfır başlangıç noktası arasındaki zaman o derinlikteki çevrinti için baskın periyodu vermektedir. Bu yöntem ve Şekil 5'te gösterilen verilere göre, tabandan  $z = 5,5$  cm yükseklikteki baskın çevrinti periyodu 5,5 sn olarak hesaplanmıştır. Derinlik boyunca integral zaman ölçeği değerlerinin değişimi, Şekil 6'da verilmiştir. Burada x,y,z yönlerine karşılık gelen u,v,w hızları için yapılan korelogram hesaplamaları sonucu en büyük çevrinti periyodu  $z/h=0,37$  boyutsuz akış derinliğinde ve u hız bileşeni için u hız bileşeni için  $T_u = 0,93$  sn olarak hesaplanmıştır. Kaya etkisi

olmaksızın x-doğrultusunda farklı derinliklerdeki noktalara ait spektral yoğunluk fonksiyonları Şekil 7'de sunulmuştur. Spektral analiz, frekans alanındaki TKE dağılımını analiz etmek için yararlı bir araçtır. TKE, akışkanın çalkantı hızlarında mevcut olan toplam kinetik enerjinin bir kısmını ifade eder. Açık kanal çalışmalarında yaygın olarak, hız spektrumunun üç farklı aşaması kabul görmüştür : (1) spektrum davranışının spesifik olarak belirlenmediği üretim aralığı; (2) oto-spektrumun “-5/3” yasasını izlediği ataletsel altgövde (bu altgrupta enerji üretimi ya da yayılımı yoktur, türbülans enerjisi daha büyük ölçeklerden daha küçük olanlara kadar viskoz aralığa ulaşana kadar akar, yayılımın oluştuğu yer); ve (3) spektrumların daha hızlı küçüldüğü viskoz aralık. [16]'da verilen yorumda yüksek frekanslı modların daha çok sinyal kirliliği ifade ettiği, orta büyüklükteki frekans modlarının küçükten, büyüğe kadar farklı büyüklüklerdeki çevrintilere karşılık geldiği, küçük frekans modlarının ise eğer seriler yeterince uzunsa, hidrolojik değişkenlikleri barındırdığı ifade edilmiştir.

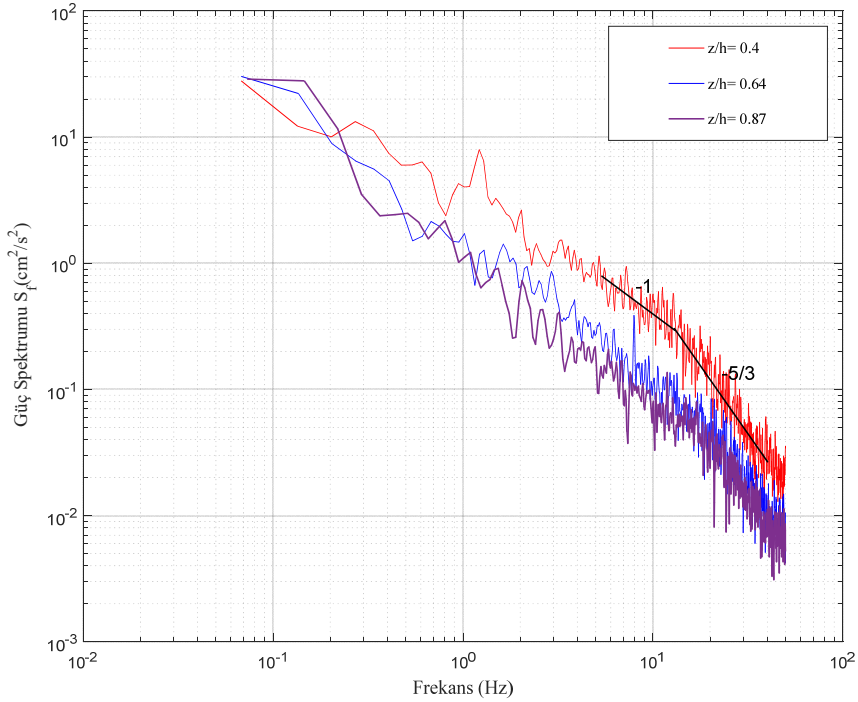
Şekil 7'de görülebileceği gibi, akarsu tabanından itibaren,  $z=5,5$ ,  $z=9$ ,  $z=12,2$  cm derinliklerde ölçülen noktalar için spektral yoğunluğa karşılık frekans değerleri elde edilmiş ve logaritmik eksenler kullanılarak gösterilmiştir. Ölçülen noktalar içinde tabana en yakın noktaya ait grafiğin en büyük enerji değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu noktada, Kolmogorov -5/3 yasası grafikte net olarak gözükmemektedir, -5/3 eğim değerine ek olarak -1 eğim değeri de gözlenmektedir. Su yüzeyine yakın noktalardan toplanan hız zaman serilerinin, akarsu tabanına yakın olanlardan daha az enerji içerdiği gözlenmiştir.

### 3.3. Akarsu İçerisindeki Bir Kaya Çevresinde Türbülans Kinetik Enerjinin Dağılımı (Distribution of Turbulent Kinetic Energy around the Boulder)

Akarsu içinde bir kaya etrafında, Şekil 8'de görüldüğü gibi akış yönüne paralel ve akış yönüne dik eksenlerde, kaya



**Şekil 6.** Akış derinliği boyunca u, v ve w hız zaman serileri için integral zaman ölçekleri  
(Integral time scales for u, v, and w velocity time series along flow depth)



**Şekil 7.** Boyutsuz derinlik boyunca spektral yoğunluk değerlerinin frekans ile değişimi  
(Variation in spectral density along depth)

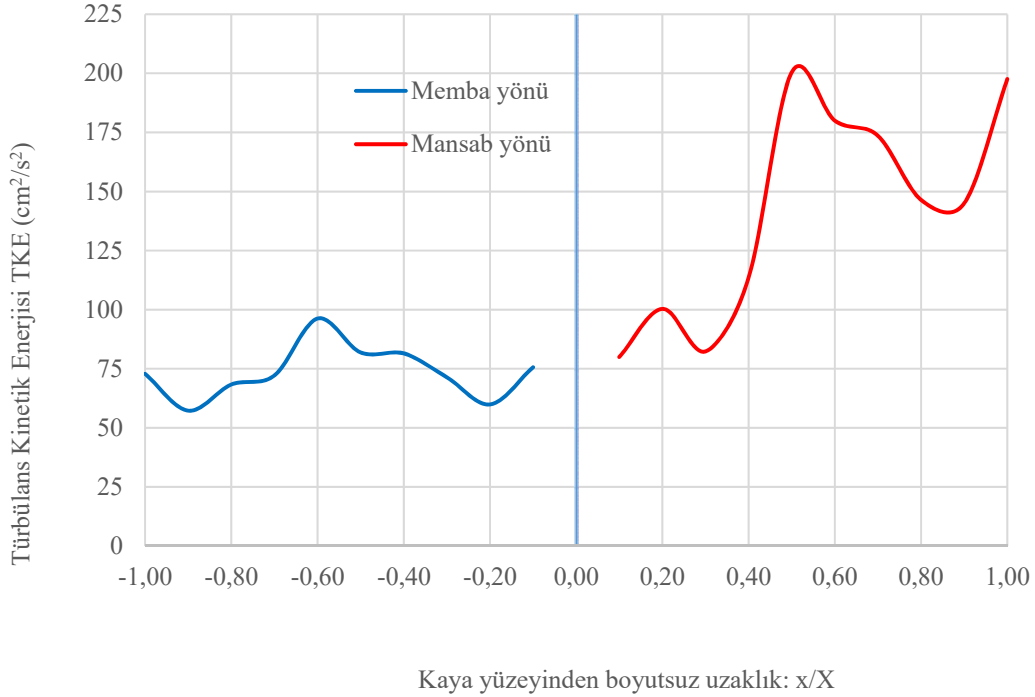
yüzeyinden başlayarak on cm aralıklarla, yüzeyin hemen altındaki bir derinlikte hız verileri toplanarak analiz edilmiştir. Hız verilerinin toplandığı aynı koordinatlarda bir sensör ile çözülmüş oksijen konsantrasyon değerleri de

ölçülmüştür. Kaya yüzeyinden itibaren memba ve mansap tarafına doğru TKE'nin değişimini gösteren grafik Şekil 9'da verilmiştir. Akarsu orta noktasında bulunan kayanın ön ve arka yüzleri, sırasıyla yukarı ve aşağı yönde ölçümler için





Şekil 8. Çerçevenin kayanın etrafına yerleştirilmesi (Placement of the frame around the boulder)



Şekil 9. TKE'nin kaya yüzünden itibaren menba ve mansab yönünde değişimi  
(Variation in TKE upstream and downstream of the boulder)

başlangıç noktaları olarak seçilmiştir. Veriler, memba ve mansap akış yönüne doğru yüzeyden başlayarak yaklaşık 10 cm'lik aralıklarla toplanmış ve yaklaşık mansap, kuyruk vorteks tüp uzunluğu mesafesi kullanılarak normalize edilmiştir. Vorteks tüp uzunluğu, ölçüm yapılan kayanın mansabında başlangıç noktası kabul edilen kaya yüzünden

itibaren çevrıntilerin stabil kaldığı mesafe olarak alınmıştır, uzunluk hesaplanırken literatürde deneysel olarak engel karakteristik uzunluğu/vorteks tüp uzunluğu oranının 0,28 olduğu bilgisi kullanılmıştır. Ölçümde kullanılan kayanın akıma dik karakteristik uzunluğu  $l = 30$  cm olup  $l/X = 0,28$  oranını veren vorteks tüp uzunluğu yaklaşık olarak  $X \cong 100$

cm alınmıştır. Bu değer arazide ölçüm sırasındaki gözlemlerle de uyumaktadır. Şekil 9' da yatay eksendeki  $x/X$  oranı kaya yüzünden itibaren veri alınan noktanın ( $x$ ), vorteks tüp uzunluğuna ( $X$ ) oranını göstermektedir ,veri kaya yüzeyi başlangıç kabul edilerek her 10 cm de bir toplanmıştır.

Akım kaya yüzeyine doğru yaklaşırken, akım hızı kaya üzerinden geçen eksen doğrultusunda yavaşlamakta ve kaya ön yüzünde sıfır olmaktadır. Kaya'nın memba yüzünde TKE değerleri mansap tarafıyla kıyaslandığında daha düşük olup,belli değer etrafında dalgalı bir seyir göstermektedir. Şekil 9' da görüldüğü gibi TKE değeri kayanın mansap yüzünden başlayarak hızla artmakta ve kuyruk tarafı vorteks koridor uzunluğunun yaklaşık yarısında maksimum değere ulaşmaktadır. Kaya parçasının mansap yüzeyine yakın ilk noktadan elde edilen hız zaman serilerinin  $x,y,z$  yönlerindeki  $u,v,w$  değerlerine ait otokorelogramlar çizilmiş ve Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'daki düşey hız bileşeni  $w$  aniden bozulur ve ilk olarak sıfır seviyesini keser. Diğer bileşenler,  $v$  ve  $u$ , yaklaşık aynı bağımlılık seviyesini ve dolayısıyla benzer bir çevrinti büyüklüğünü göstermektedir.

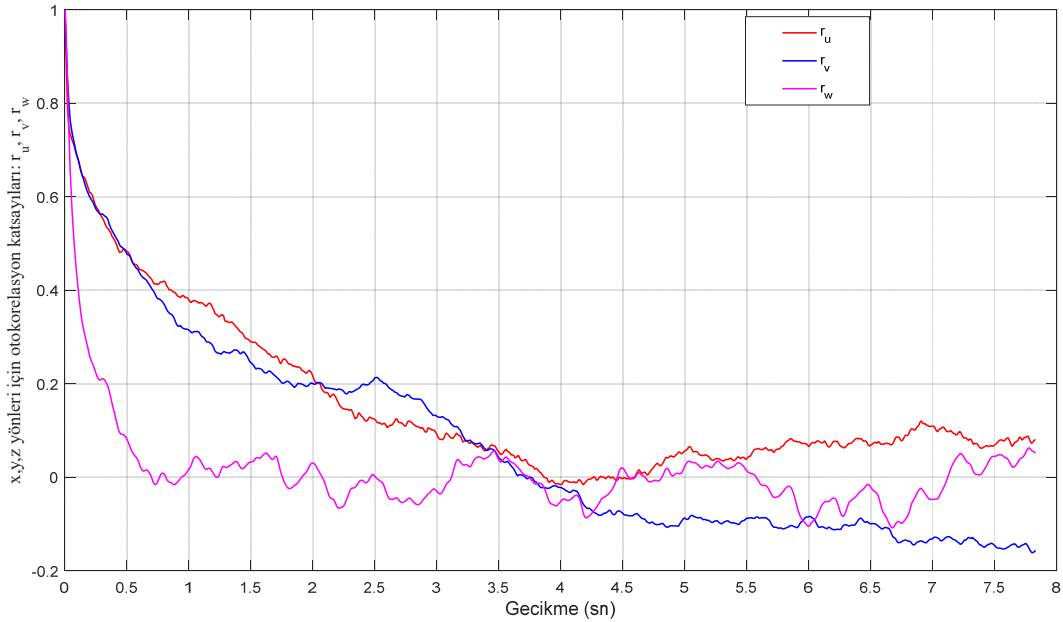
Kaya parçasının memba ve mansap tarafına bakan yüzeylerine yakın verilerle hazırlanan spektral yoğunluk fonksiyonları Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11'de çevrıntilerin sahip olduğu enerjinin büyük bölümünün 0,2 Hz civarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu kısımda mansap tarafındaki vorteksler memba tarafındakilere göre daha büyük enerjiye sahiptir.1-10 Hz frekans aralığındaki çevrıntilere bakıldığında bu aralıkta memba yüzündeki çevrıntilerin daha büyük kinetik enerjiye sahip olduğu görülmektedir. Şekil 11 de 10 Hz frekans değeriyle başlayıp  $-5/3$  sabit eğimiyle yaklaşık 30 Hz değerine

kadar uzanan bölgenin Kolmogoroff'un benzerlik hipotezini oluşturan, enerjinin büyük çevrıntilerden daha küçük çevrıntilere aktarım hızının, küçük çevrıntilerden viskoz etkilerle uzaklaştırılma hızına eşitlendiği aralık olarak ifade edilebilir.

#### 3.4. Türbülans Kinetik Enerjisinin Oksijen Transferi Üzerine Etkisi

(Effect of Turbulence Kinetic Energy on Oxygen Transfer)

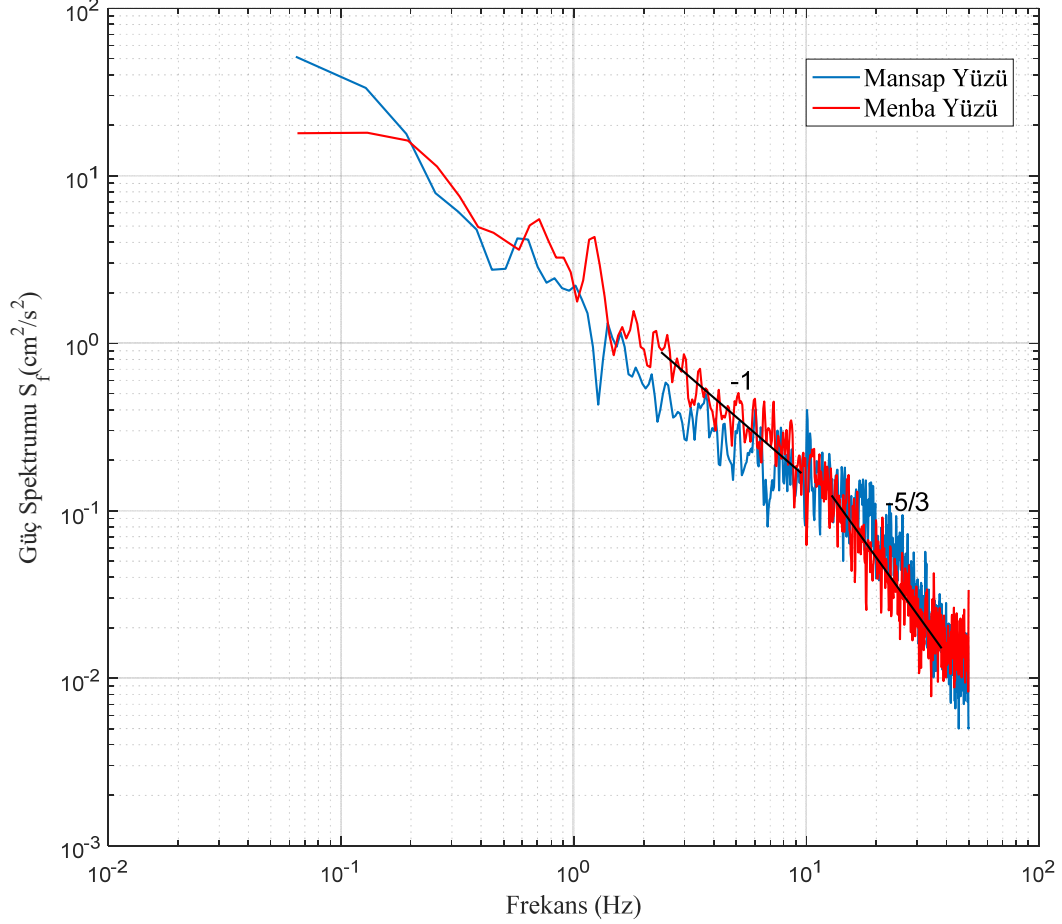
Bu çalışmada, çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile türbülans kinetik enerji değerlerinin nasıl değiştiği de incelenmiştir. Akarsu ve nehirlerde detaylı çalışmalar [19] tarafından sunulmuş olup, çeşitli çevresel sistemlerde meydana gelen çok çeşitli süreçler için oksijen transfer hızını doğru olarak tahmin eden türbülansa dayalı bir mekanik model önerilmiştir. Yüzeye yakın ölçülen türbülans değerinin oksijen transferi üzerinde önemli bir etkisi vardır: [20] 'deki araştırmalarda hidrolik sıçramalar, kayalar ve dalgaların akışı engellendiği vurgulanmıştır ve bu özellikler muhtemelen iki büyük hidrolik sıçramaya sahip House Rock Rapid'de olduğu gibi gaz alışverişini de tetiklemektedir. Bu sıçramaların kabarcık oluşumunu ve gaz değişimini hızlandırdığı söylenebilir , [21] akım ekosistemlerinin restorasyon ve yönetiminin, hidrodinamik ve ekolojik süreçler arasındaki ilişkiyi tanımlayabilecek kavramsal ve sayısal modeller gerektirdiğini vurgulamıştır. [21] deneyler yapmış ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunun artan çevrinti hızıyla arttığını gözlemlemiştir. Mevcut çalışmada, türbülans kinetik enerji değerleri ile çözünmüş oksijen verisi arasındaki ilişkiyi araştırmak için, kaya parçası etrafındaki oksijen konsantrasyonu ölçülmüştür. Çözünmüş oksijen değerlerinin ölçümünde oksijen metre kullanılmıştır , cihaz bir sensör ve bir prob dan oluşmaktadır. Oksijen metre önce



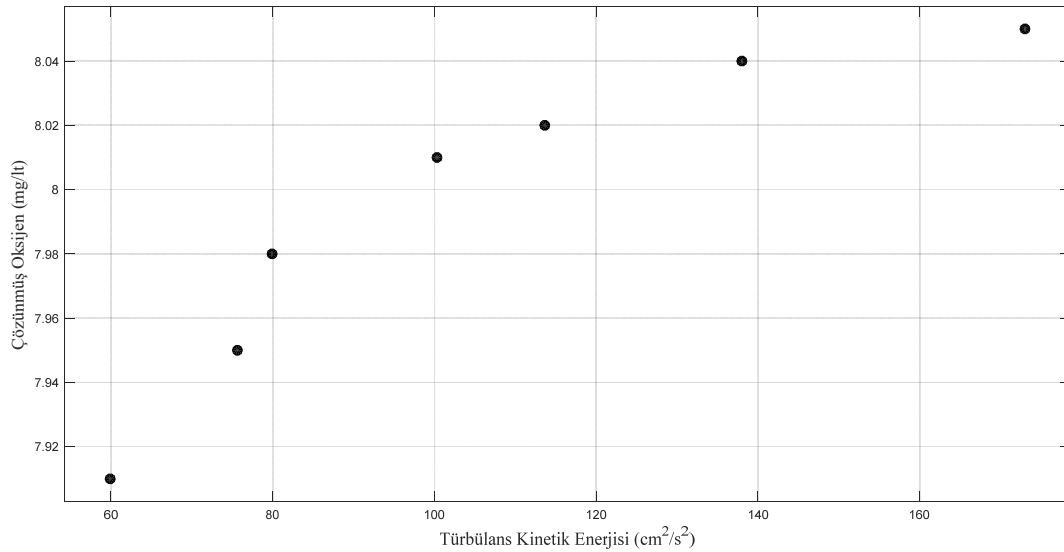
Şekil 10.  $x,y,z$  yönlerindeki  $u,v,w$  hız bileşenleri için kaya parçası mansap yüzünden elde edilen hız verilerinin korelogramları (Autocorrelogram for the downstream face of the boulder for  $x, y,$  and  $z$  directions)

kalibre edilmiş, daha sonra arazide kinetik enerji veri ölçümü yapılan aynı noktalara probu daldırmak suretiyle sensörde okunan veriler kaydedilmiştir. Bu ilişki Şekil 12'de gösterilmiştir.

Şekil 12, türbülans ve çözülmüş oksijen verilerinin paralel bir yükselme eğilimi sergilediğini göstermektedir: iki veri grubu arasındaki determinasyon katsayısı (R-kare) değeri 0,97'dir. Bu nedenle, sistemdeki havalanmanın bir sonucu



**Şekil 11.** Kaya parçasının memba ve mansap yönlerindeki noktalar için spektral yoğunluk fonksiyonları  
(Power spektral density for the points on the upstream and downstream faces of the boulder)



**Şekil 12.** Kaya parçası çevresinde kinetik enerji ile çözülmüş oksijen değerinin değişimi  
(Variation in dissolved oxygen with kinetic energy around the boulder)

olarak çözünmüş oksijenin değerinin artışı doğrudan kinetik enerji değerlerinin artışına bağlanabilir. Kaya parçasının etrafında oluşan türbülanslı ortamdan uzakta durgun su ortamında ölçülen çözünmüş oksijen değeri 7,09 mg / lt' dir. Bu nedenle, türbülans nedeniyle, çözünmüş oksijen konsantrasyonunda %13,54 bir artış ölçülmüştür.

#### 4. SİMGELER (SYMBOLS)

B	: integrasyon sabiti
h	: su derinliği
$\kappa$	: Von Karman sabiti,
$\nu$	: kinematik viskozite
$s^2$	: varyans
$TI_x$	: türbülans şiddeti
TKE	: türbülans kinetik enerjisi
$T_u$	: integral zaman ölçeği
r	: otokorelasyon katsayısı
$\Delta t$	: Örnek alım zaman aralığı
$S_f$	: Spektral yoğunluk fonksiyon değeri
u	: akımın hızı
$\bar{u}$	: ortalama hız
$u_*$	: kayma gerilmesi hızı
$u'$	: çalkantı hızı
z	: tabandan ölçüm alınan noktaya kadarki uzaklık

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Mühendislik projelerinin akarsu ortamları üzerindeki etkilerinin çevrinti ve türbülans perspektifleri üzerinden de araştırılmasında yarar vardır. Türbülansın neden olduğu girdap ve çevrintiler, akarsu ortamlarında besin transferinde ve balıkların kinematik davranışlarında da önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, sığ bir akarsuda derinlik boyunca ve bir kaya parçası çevresinde türbülans parametrelerinin ayrıntılı ölçümleri yapılmıştır. Akarsu ortamındaki türbülans parametrelerinin değişimini ve dağılımını daha iyi anlayabilmek için çevrintilerin periyodik karakterleri, bağımlılık yapıları ve taşıdıkları kinetik enerjinin büyüklüğü gibi konular detaylandırılmış ve bu amaçla hassas ölçümler yapılmıştır. Bu ve benzer çalışmaların doğal yaşam alanları hakkında doğru model çalışmalarının sağlanmasında önemli katkıları olabileceğine inanılmaktadır. Çalkantı hızlarının oluşturduğu zaman serilerinin analizlerine göre kaya parçası mansap kısmındaki vorteks koridorunun başlangıç bölgesinde çalkantı hızları yüksek bağımlılık göstermektedir. Spektral analiz sonuçları türbülans kinetik enerjisinin çoğunun yüksek-periyotlu (düşük frekanslı) yapılarda (çevrintiler ve girdaplar gibi) yoğunlaştığını göstermektedir. Akarsu tabanına yakın noktalardan elde edilen veriler daha üst noktalardan elde edilen verilere göre daha yoğun sinyal gürültüsü içermektedir. Bu bölgelerdeki verilere uygulanan spectral analiz sonuçları kinetik enerji transferinin dengede olduğu -5/3 eğiminden önce -1 eğim değeri net olarak gözlenmiştir. Su derinliği boyunca türbülans kinetik enerjisinin dağılımı elde edilmiş, TKE'nin tabanın hemen üzerinde aniden yükseliş trendi gösterdiği,  $z/h=0,4$  değeri civarında maksimuma ulaştığı, daha sonra dalgalı bir trendde azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmanın nispeten özgün bir yönü,

türbülans kinetik enerjisi ile çözünmüş oksijen konsantrasyonu arasındaki ilişki araştırılmış ve bu iki parametre arasında yüksek bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunda türbülans kaynaklı %13,54'lük bir artış gözlemlenmiştir. Akarsu ortamlarındaki türbülans akış karakteristikleri üzerindeki araştırmalar, eko-hidrolik alanındaki daha ileri çalışmalar için başlangıç olacaktır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (2016-353) numaralı projeye verdiği mali destekten dolayı teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bennett, S.J., Ghaneizad, S.M., Gallisdorfer, M.S., Cai, D., Atkinson, J.F., Simon A, et al. Flow, turbulence, and drag associated with engineered log jams in a fixed-bed experimental channel, *Geomorphology*,248,172-184, 2015.
2. Davidson, P., *Turbulence: an introduction for scientists and engineers*, Oxford University Press, 2015.
3. Franca, M.J., Brocchini, M., *Turbulence in rivers. Rivers-Physical, Fluvial and Environmental Processes*, Springer,51-78, 2015.
4. Termini, D., *Experimental Analysis of Horizontal Turbulence of Flow over Flat and Deformed Beds*, *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 62,77-99, 2015.
5. Czernuszenko, W., Holley, E.R., *Open-channel turbulence measurements with a three-component acoustic Doppler velocimeter*. Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences, E-7,401,49-79, 2007.
6. Jain, R.K., Kumar, A., Kothiyari, U.C., *Turbulence statistics of flow through degraded channel bed of sand-gravel mixture*, *Journal of Hydro-environment Research*,9,508-518, 2015.
7. Stone, M.C., Hotchkiss, R.H., *Turbulence descriptions in two cobble-bed river reaches*, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133,1367-1378, 2007.
8. Strom, K.B., Papanicolaou, A.N., *ADV measurements around a cluster microform in a shallow mountain stream*, *Journal of Hydraulic Engineering*,133,1379-1389, 2007.
9. Tritico, H.M., Hotchkiss, R.H., *Unobstructed and obstructed turbulent flow in gravel bed rivers*, *Journal of Hydraulic Engineering*,131,635-645, 2005.
10. Maddock, I., Harby, A., Kemp, P., Wood, P.J., *Ecohydraulics: an integrated approach*, John Wiley & Sons, 2013.
11. Öztürk, M., *Sediment Size Effects in Acoustic Doppler Velocimeter-Derived Estimates of Suspended Sediment Concentration*, *Water*, 9, 529, 2017.
12. Nikora, V., Goring, D., *Flow turbulence over fixed and weakly mobile gravel beds*, *Journal of Hydraulic Engineering*, 126, 679-690, 2000.

13. Nezu, I., Nakagawa, H., Turbulence in open channels, IAHR/AIRH Monograph Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1993.
14. Sukhodolov, A.N., Structure of turbulent flow in a meander bend of a lowland river, Water Resources Research, 48, 2012.
15. Köse, O., Distribution of turbulence statistics in open-channel flow, International Journal of Physical Sciences, 6, 3426-3436, 2011.
16. Konsoer, K.M., Rhoads, B.L., Spatial-temporal structure of mixing interface turbulence at two large river confluences. Environmental Fluid Mechanics, 14,1043-1070, 2014.
17. Kundu, P.K., Cohen, I., Fluid mechanics, Elsevier Acad Press, London, 199-400, 2008.
18. Lacey, R.J., Roy, A.G., The spatial characterization of turbulence around large roughness elements in a gravel-bed river, Geomorphology, 102,542-553, 2008.
19. Zappa, C.J., McGillis, W.R., Raymond, P.A., Edson, J.B., Hints, E.J., Zemmeling, H.J., Environmental turbulent mixing controls on air-water gas exchange in marine and aquatic systems, Geophysical Research Letters 34, 2007.
20. Hall, R.O., Kennedy, T.A., Rosi-Marshall, E.J., Air-water oxygen exchange in a large whitewater river, Limnology and Oceanography, Fluids and Environments, 2,1-11, 2012.
21. Lee, S-M., Kang, B-H., Lim K-H., Chae M-S., Kim D-W., Effect of turbulence intensity on oxygen transfer efficiency in mbr coupled pure oxygen hcr for high organiz loading wastewater. Circulation, 5500, 500, 2010.

