



Enclosed coastal waters quality monitoring with bacterial indicator phase-plane analysis

Hale Hapoğlu^{1*}, Şule Camcıoğlu¹, Baran Özyurt¹, Pelin Yıldırım², Nihal Yılmaz², Lale Balas²

¹Department of Chemical Engineering, Ankara University, Ankara, 06100, Turkey

²Department of Civil Engineering, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

Highlights:

- Phase-plane analysis for enclosed coastal water quality monitoring
- The relationship among the bacterial indicator, dissolved oxygen and temperature
- Wireless water quality index monitoring proposal

Keywords:

- Enclosed coastal waters quality monitoring
- Phase-plane analysis
- Faecal coliforms
- Water quality index with missing parameters

Article Info:

Received: 22.03.2017

Accepted: 19.06.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416438

Acknowledgement:

This work was supported by Ankara University Scientific Research Project Coordination Unit. Grant number: 14L0443001, 2016

Correspondence:

Author: Hale Hapoğlu
e-mail:
hapoglu@eng.ankara.edu.tr
phone: +90312 203 3514

Graphical/Tabular Abstract

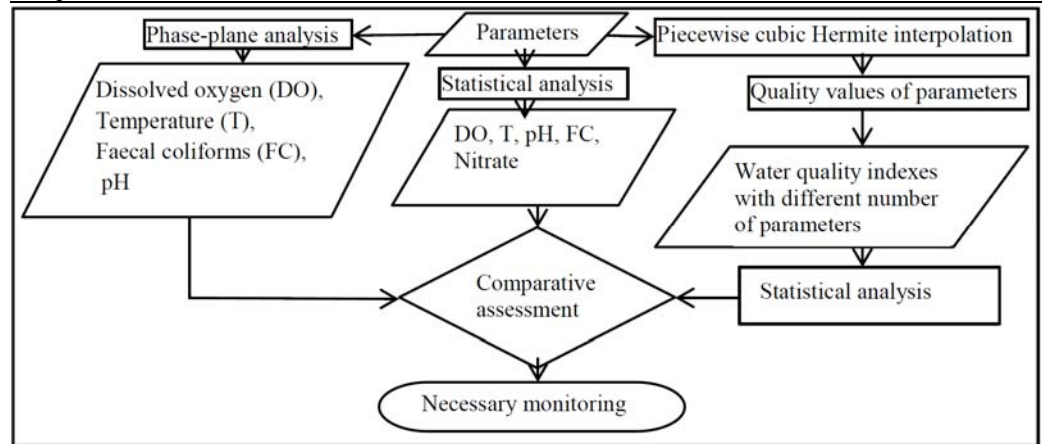


Figure A. Enclosed coastal waters quality monitoring

Purpose:

Enclosed coastal waters becoming polluted can react very complexly under environmental conditions. It is important to understand dynamic behaviour of their parameters. In this study, bacterial indicator phase-plane analysis was used to determine the relationships among parameters and the water body behaviours. Statistical analysis of the water quality parameters and the indexes with the different number of parameters were also realized comparatively.

Theory and Methods:

Enclosed coastal waters at the edge of the Kaş region is selected to obtain phase-plane plots and “cusp” diagrams of bacterial indicator. Statistical analysis of the selected indicators is realized for comparison. The weighting average water quality indexes with several selected set of pollution indicators has been used to keep track of changes over time.

Results:

Bacterial indicator is affected by temperature, dissolved oxygen and pH for the enclosed coastal waters selected. The most strong and opposite phase-plane behaviours of bacterial indicator are observed with respect to temperature and dissolved oxygen.

Conclusion:

Faecal coliforms concentration is successfully used in phase-plane analysis to examine the enclosed coastal waters behaviour and to choose significant water quality indicators.



Bakteriyel gösterge faz-düzlem analizi ile kapalı kıyusal sularda kalite izleme

Hale Hapoğlu^{1*}, Şule Camcıoğlu¹, Baran Özyurt¹, Pelin Yıldırım², Nihal Yılmaz², Lale Balas²

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Döğol Caddesi, Tandoğan, Ankara, 06100, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Maltepe, Ankara, 06570, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Kapalı kıyusal sularda kalite izleme için faz-düzlem analizi
- Bakteriyel gösterge, çözülmüş oksijen ve sıcaklık arasında ilişki
- Kablosuz su kalite endeksi izleme önerisi

Makale Bilgileri

Geliş: 22.03.2017

Kabul: 19.06.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416438

Anahtar Kelimeler:

Kapalı kıyusal sularda kalite izleme,
faz-düzlem analizi,
fekal koliform,
eksik parametrelili su kalite endeksi

ÖZET

Türkiye Kaş bölgesi kapalı kıyusal sularında, su kalitesinin izlenmesi için Matlab ortamında faz-düzlem analizleri ile gösterge bakteriler ve çözülmüş oksijen (DO), pH ve sıcaklık parametreleri arasındaki ilişki, 20 Eylül 2013- 8 Şubat 2014 tarihleri arası dinamik davranış dikkate alınarak incelenmiştir. Bakteriyel gösterge faz düzlem analizlerinin iyi bir izleme yöntemi sağladığı ileri sürülmüştür. Sıcaklık (anlamlılık değeri, $p=4,9e-05$), DO ($p=1,0e-04$) ve pH ($p=4,6e-04$) değerlerinin bakteriyel göstergeler üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Bakteriyel göstergeler arasındaki ilişki aynı ölçekte “cusp” diyagramları karşılaştırılarak gözlenmiştir. Toplam koliform derişiminin, fekal koliform (FK) derişimi ile yakın olarak ilgili olduğu gösterilmiştir. Kapalı kıyusal alan su kalitesi bilgisi gösteriminde, ağırlıklı ortalama su kalite endeksi (WQIMP) uygun parametre grupları seçilerek kullanılmıştır. İndeks sayılarını hesaplayarak zaman içinde değişimlerin takip ve analizini sürdürmek için; FK, DO, pH, sıcaklık, bulanıklık, nitrat ve toplam askıda katı olmak üzere yedi değişkenli grup ve FK, sıcaklık, DO olmak üzere üç değişkenli grup ($p=8,3e-05$) başarı ile kullanılmıştır. Parametrelerin kalite değerleri, Matlab’da kübik “Hermite” polinomu kullanılarak geliştirilen yazılımdan elde edilmiştir.

Enclosed coastal waters quality monitoring with bacterial indicator phase-plane analysis

H I G H L I G H T S

- Phase-plane analysis for enclosed coastal water quality monitoring
- The relationship among the bacterial indicator, dissolved oxygen and temperature
- Wireless water quality index monitoring proposal

Article Info

Received: 22.03.2017

Accepted: 19.06.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416438

Keywords:

Enclosed coastal waters
quality monitoring,
phase-plane analysis,
faecal coliforms,
water quality index with
missing parameters

ABSTRACT

With phase-plane analysis in Matlab, the relations between the bacterial indicators and dissolved oxygen (DO), pH and temperature, was examined by considering the dynamic during 20 September 2013 to 8 February 2014 for water quality monitoring in enclosed coastal waters at the edge of the Kaş region of Turkey. It has been suggested that the bacterial indicator phase plane analysis provides a good method of monitoring. It was shown that temperature (significance value, $p=4.9e-05$), DO ($p=1.0e-04$) and pH ($p=4.6e-04$) values have a significant effect on bacterial indicators. The relationship between the bacterial indicators was examined by comparing the same scale “cusp” diagrams, and it was demonstrated that total coliforms concentration were closely related with faecal coliforms (FC) concentration. In presenting the enclosed coastal water quality information, weighting average water quality index (WQIMP) has been used by selecting the sets of appropriate parameters. To keep track of and analyse changes over time by calculating the index numbers, the set of seven variables which are FC, DO, pH, temperature, turbidity, nitrate, total suspended solids and the set of three variables which are FC, temperature, DO were utilized successfully ($p=8.3e-05$). Parameter quality values were obtained from the software developed using cubic hermite polynomial in Matlab.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: hapoglu@eng.ankara.edu.tr / Tel: +90 312 203 3514

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su kütlelerinin kirlenmesi canlıları ve çevreyi uygun olmayan şekilde etkilemektedir. Kirli sular insan ve hayvan sağlığı için bir tehdit unsuru oluşturabilmekte, bitkiler olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu nedenle mevcut ham su kütlelerindeki kirleticiler ve istenen su kalitesi değerleri önemlidir. Yüzeysel suları, su ekosistemleri için yaşamsal önemde olan çözünmüş halde çok sayıda kimyasal madde içerir; ancak mikroorganizmaların aşırı biçimde artması su kalitesini düşürerek birçok organizmanın sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşır [1]. Endüstriyel ve evsel atıkları taşımaları sebebiyle nehir havzaları kirlenme olasılığı en yüksek su kütleleri arasındadır. Yerleşim merkezleri, endüstriler ve tarımsal etkinliklerden kaynaklanan atık suların akarsulara boşaltılması sonucu, suların bu atıkları özümleme kapasitesi aşılmakta ve kirlenme durumu istenmeyen boyutlara ulaşabilmektedir. Kıyı sularında toplam koliform ve fekal koliform bakteri derişimleri üzerinde yapılan istatistiksel çalışmalar fekal koliform bakteri faktörünün günlük olarak izlenmesi gereğini ortaya koymuş olup bu faktörün deniz akıntıları ve derin deniz deşarjlarından etkileneceği vurgulanmıştır [2]. Kapalı kıyısal sularda su seviyesi değişimlerinin, rüzgar ve dalga ikliminin, akıntı ve sediman taşınımalarının askıda katı madde gibi parametrelere etkileri vurgulanmıştır [3]. Kıyı boyu sediman taşınımı HYDROTAM-3D modeli Türkiye’de birçok kıyı alanına uyarlanmış bir modeldir. Bu modelin veri tabanında Türkiye kıyı meteoroloji istasyonlarının yaklaşık 40 yıllık saatlik verileri bulunmaktadır [4]. İncelenen parametrelerin gerek Türk Standartları gerekse dünya standartlarındaki değerleri dikkate alınmalıdır [5]. Su kalitesi parametrelerinin boyutsuz indeks değerleri dikkate alınarak temizlik veya kirlilik göstergesi olma durumları incelenmelidir.

Ülkemizde yönetmelikler ile denizlerden beklenen alıcı ortam standartları belirlenmiştir. İlgili yönetmelikle bazı genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından kıyı suları alıcı ortam kalite kriterleri Ege-Akdeniz, Marmara ve Karadeniz olarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Ayrıca yerüstü su kütlelerinde bazı parametreler için çevresel kalite standartları ve kullanım maksatları dört sınıf altında belirlenmiştir. İyi ekolojik durum, doğal su kütleleri için bir hedef teşkil etmektedir. Bu su kütlelerinde değişimin geri dönüşümsüz olması durumunda ulaşılmak istenen hedef bir miktar indirilebilir. Yapılacak sınıflandırmada, en önemli unsur olan biyolojik kalite için durum belirleme ekolojik kalite oranı hesaplamaları ile yapılabilir [6]. Kıyı suları kalitesini belirlemek için kullanılan yöntemler ve indeksler araştırmalara göre farklılık göstermektedir [7].

Birçok koliform bakteri patojen olmasa da suyun bakteriyel kalitesinin aynası olarak kabul edilir. Bu nedenle su kalitesinin ölçülmesi için genellikle sudaki koliform miktarının analizi yapılır. Total koliform bu patojenlerin varlığı hakkında iyi bir tahmin yapılmasını sağlar ve miktarı daha fazla olduğu için tespiti kolayca gerçekleştirilebilir. Toplam koliform sayımı kirliliğinin bir göstergesidir. Su

kalite indekslerinin su sıcaklığı ile nasıl değiştiğinin incelenmesinde 37-41⁰N, 117,5-121,0⁰E bölgesinde yer alan denizel alan dört aylık zaman diliminde incelenmiştir. Deniz suyu sıcaklığının -2⁰C’den 20⁰C’a kadar değişmesine karşı toplam bakteri sayımının çok etkilenmemiş olduğu ancak sıcaklığın 16⁰C’den yüksel olduğu durumda artışın çok fazla gerçekleştiği izlenmiştir. Burada toplam bakteri sayımı ile pH arasında bir bağıntı gözlenmemiştir. Kimyasal oksijen ihtiyacı, çözünmüş oksijen ve fekal koliform değerlerinin fazla değişmemesi organik ve bakteriyel kirliliğin fazla olmadığına işaret olarak değerlendirilmiştir [8]. Fekal koliform olarak tanımlanan bakterilerin bir kısmı Escherichia coli ve diğer kısmı ise toprak ve bitki kökenli olabilmektedirler. Sıcaklığın belli değer üzerinde olduğu sularda fekal koliform bakteriler gelişemez ve tembellik gösterir [9]. Bakteriyel kılavuz ve zorunlu değerler dikkate alınarak, total koliform ve fekal koliform seviyeleri izlenebilir ve bakteriyel gösterge yönünden ilgili su kütlesi iyi, yeterli ve kötü olmak üzere üç sınıfta değerlendirilebilir [2]. Sıcaklık parametresi kapalı denizel alanda belli değer aralığında bakteriyel göstergeler üzerinde önemli etkiye sahip olan bir parametredir.

Bir balık çiftliğinde amonyum iyonu, pH ve sıcaklık değerleri kablosuz iletişim sistemi kullanılarak izlenmiş ve kablosuz sensör ağı uygulaması gerçekleştirilmiştir [10]. Bu tip parametrelerin kablosuz iletişim ile sürekli izlenmesi mümkündür [11]. Kablosuz sensör ağı ile iyon seçici elektrotlar kullanarak bir göl içinde çeşitli ölçüm istasyon sularındaki nitrat, amonyum ve klorit iyonlarının analizleri gerçekleştirilmiş ve kablosuz ölçüm sonuçları klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında birçok sonucun aynı olduğu aynı olmayan sonuçların da birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Hazırlanmış olan arayüz her an bağılı çalışan istasyonları göstererek göldeki sensör ağının görüntülenmektedir. Böylece sensörler ile belirlenen kirlilik derişimleri internet bağlantısı olan her yerde her ölçüm istasyonu için anlık olarak bilinmektedir [12]. Bir ırmakta 35 km boyunca sekiz farklı noktada kablosuz sensör ağı ve iyon seçici elektrotlar kullanılarak uzun dönem nitrat derişimi izlemesi ve kaydedilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu tasarlanan, kurulumu yapılan ve sorunları çözülen sistemin uygun şekilde çalıştığı değerlendirilmiştir [13].

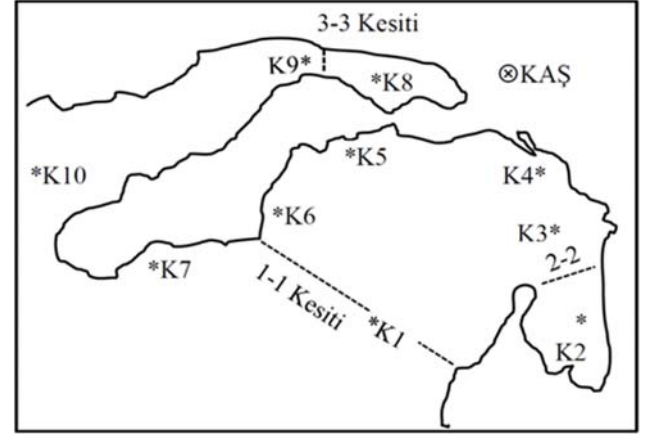
Çeşitli su kalite indeksleri kullanılarak çok iyi, iyi, orta, kötü ve çok kötü olmak üzere beşli sistem kullanılarak da değerlendirme yapılabilir. Burada kirlilik parametreleri önce boyutsuz hale getirilir daha sonra tek bir sayı haline dönüştürülürler. Bu su kalite indeksi zamansal ve alansal incelemeler için kullanılabilir [14].

Bu çalışmada, ilgili su kütlelerinin su kalitesi parametrelerinin birbirine göre davranışları ve bakteriyel gösterge faz-düzlem davranışları incelenmiştir. Matlab ortamında oluşturulan bir yazılım kullanılarak boyutsuz kalite değerlerine dönüştürülen parametre verilerinden elde edilen ağırlıklı ortalamalar yardımı ile zamansal olarak su kalitesi değerlendirilmiştir.

2. TEORİK METOT (TEORETICAL METHOD)

İzleme yapılan kapalı kıyısularda su derinlikleri ve koordinatları Tablo 1’de belirtilen 10 adet ölçüm noktasından alınmış numuneler ve bazı yerinde ölçüm değerleri bu çalışmada değerlendirilmiştir. Tüm ölçüm istasyonları yerüstü su kalitesi yönetmeliğine [6] uygun olarak kıyısularda bant içinde, kara-deniz etkileşim bölgesinde su kütlesini en iyi şekilde yansıtacak biçimde seçilmiştir. Burada K1 istasyonu Kaş körfezi açık deniz ortamını temsil etmektedir. K2 istasyonu Kaş körfezinde liman ağzı koyunu temsil etmektedir. Açık deniz etkisi en azdır. K3 istasyonu açık deniz etkisi az olan deniz ortamını temsil etmektedir. K4 istasyonu Yat limanı önünü temsil etmektedir. K5 istasyonu yarımada etrafındaki deniz suyunu temsil etmektedir. K6 istasyonu atık su arıtma tesisi önüdür. K7 istasyonu Kaş körfezi açık deniz ortamını temsil eder. K8 istasyonu marina girişini temsil etmektedir. K9 istasyonu Bucak körfezi en dar boğaz noktasını temsil eder ve K10 istasyonu Bucak Körfezi açık deniz ortamını temsil eder. İlgilenilen su kütlesi için 1: 100000 (36 derece) ölçekli deniz haritası temel alınarak 6,05cm boy – 8,5cm en boyutlarında oluşturulan şematik gösterim Şekil 1’de verilmiştir. Bu şematik çizim üzerinde su akım giriş veya çıkışları 1-1, 2-2 ve 3-3 kesitleri olarak ve istasyonlar sembolik olarak gösterilmiştir. Altı aylık çalışma süresinde (20 Eylül 2013 – 8 Şubat 2014) 1-1 kesiti boyunca açık deniz ile ortalama 53066880 m³/gün; 2-2 kesiti boyunca liman ağzı koyu ile ortalama 3640320 m³/gün; 3-3 kesiti boyunca akıntılar ile ortalama 1036800 m³/gün su alışverişi olduğu değerlendirilmiştir. İncelenen bölgenin askıda katı madde seviyesi olarak temiz olduğu ölçümlerden anlaşılmasıyla beraber istasyonlar bazında bir karşılaştırma yapılabilir. Askıda katı madde Eylül ayında K4-K3 istasyonları ile kıyı arasında çok az derişimde, Ekim ayında yine aynı bölgede K3 istasyonuna doğru az derişimde, Kasım ayında K2-K3-K4-K5-K6 istasyonları ile belirlenen tüm kıyı şeridinde ve K8 istasyonunda orta derişimde görülmüştür. Aralık ayında tüm bölgede çok az, Ocak ayında ise K3-K4-K5-K6 ve K8 bölgelerinde orta derişimde görülmüştür. Askıda katı madde derişimi Şubat ayında en çok K4 istasyonu ile belirlenen bölgedir. Tespit edilen askıda katı madde seviyelerinin deniz suyunun kalitesini etkileyecek seviyelere ulaşmadığı seki disk ölçümleri de göstermektedir. Şubat ayı K8 ve K4 istasyonları haricindeki tüm ölçüm noktalarında seki disk derinlikleri 15 m den

yüksektir. K8 ve K4 istasyonlarında da 10 m den yüksek seki disk derinliği ölçülmüştür.



Şekil 1. Ölçüm alma noktalarının şematik gösterimi (Schematic representation of sampling points)

Deniz sularından numune alma TS ISO 5667-9 standardına göre gerçekleştirilmiştir [15]. İstasyonlarda (K1-K10) deniz su kalitesini ifade eden su kalitesi parametrelerine ait başlıca fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal değerler su yüzeyinden aşağıya doğru -0,5m mesafeden alınan numunelerden ölçülmüştür. Bulanıklık (TS 5091 EN ISO 7027), pH (TS 3263 ISO 10523(1999)), çözünmüş oksijen (DO) (TS 5677), nitrat (TS ISO 7890-3), askıda katı madde (TS EN 872), fekal koliform (TS ISO 9308-2), toplam koliform (TS EN ISO 9308-2) tayinleri belirtilen Türk Standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerin zamanla değişimlerinin incelenebilmesi için numunelerin alım tarihleri aşağıdaki gibi zaman boyutunda gün birimine çevrilmiştir.

- Numune alım tarihi: 19-20 Eylül 2013, Birinci ölçüm: (0. Gün)
- Numune alım tarihi: 26-27 Ekim 2013, İkinci ölçüm: (37. Gün)
- Numune alım tarihi: 27-28 Kasım 2013, Üçüncü ölçüm: (69. Gün)
- Numune alım tarihi: 20-21 Aralık 2013, Dördüncü ölçüm: (92. Gün)

Tablo 1. Örnek alma noktalarının koordinatları ve su derinlikleri (Water depths and properties of sampling points)

İstasyon Kodu	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Kuzey Enlemi	36° 10,	36° 10,	36° 11,	36° 11,	36° 11,	36° 11,	36° 11,	36° 12,	36° 12,	36° 11,
Doğu Boylamı	29° 37,	29° 38,	29° 38,	29° 38,	29° 37,	29° 36,	29° 35,	29° 37,	29° 36,	29° 34,
Su derinliği	872' 448'	874' 832'	314' 679'	726' 582'	854' 170'	517' 617'	121' 854'	209' 430'	356' 992'	757' 906'
	175 m	50 m	80 m	80 m	13 m	10 m	65 m	30 m	18 m	100 m

- Numune alım tarihi: 3-4 Ocak 2014, Beşinci ölçüm: (106. Gün)
- Numune alım tarihi: 7-8 Şubat 2014, Altıncı ölçüm: (141. Gün)

Otomatik meteoroloji Gözlem İstasyonları (OMGİ) günlük toplam yağışları, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Kaş İstasyonu 28 Kasım 2013 – 8 Şubat 2014 tarihleri arası günlük toplam yağış (mm) bilgileri incelendiğinde beşinci ay numune alımında (3-4 Ocak 2014) ilk gün günlük toplam yağış 33,4mm ve ikinci gün 1,4mm olmak üzere yüksek yağış çevresel etkisi altında kaldığı değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, ağırlıklı aritmetik ortalama temelinde dayalı Srivastava ve Kumar [14] tarafından önerilen su kalite indeksi (WQIMP) formülü kullanılmıştır. Formül Eş. 1’de verilmiştir.

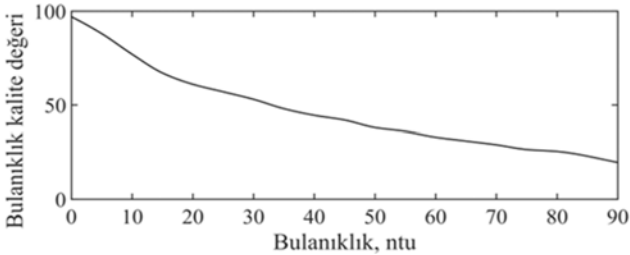
$$WQIMP = \frac{\sum_{x=1}^n Q_x W_x}{\sum_{x=1}^n W_x} \quad (1)$$

Kaş körfezinde önemli miktarda su girişi olmadığı belirlenen istasyonlardan (K1, K2, K3, K5 ve K7) alınan numune ölçüm ortalamalarını ($C_{ort} = [K1+K2+K3+K5+K7]/5$) kullanarak su kalite indeksi değerleri hesaplanmıştır. Kullanılan parametreler; Fekal koliform bakteri (x=1), toplam askıda katı madde miktarı (x=2), nitrat derişimi (x=3), bulanıklık (x=4), pH (x=5), sıcaklık farkı (x=6), % (doy) DO (x=7) olmak üzere seçilmiştir. Bu parametrelerin boyutsuz kalite değerleri Matlab ortamında kübik “Hermite” polinomu kullanılarak oluşturulan yazılım ile elde edilmiştir.

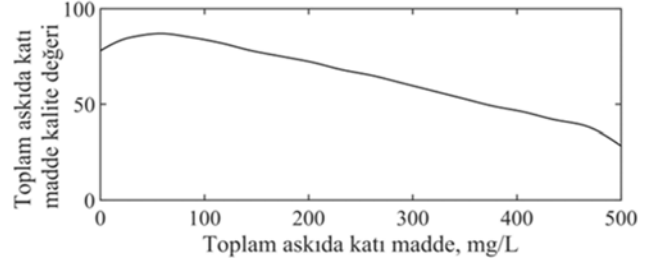
Bu yazılımda her bir parametre için 18 adet eş aralıklı sabit veri seti açık literatürden yararlanılarak sağlanmıştır [14]. Bu sabit interpolasyon veri tabanlı Matlab yazılımı ile su kalite indeksi değerlerinin uzun dönem karşılaştırılma imkânı sağlanmıştır. Boyutsuz kalite değeri eğrileri x=4 için Şekil 2’de, x=2 için Şekil 3’de, x=7 için Şekil 4’de; x=1 için Şekil 5’de, x=3 için Şekil 6’da, x=6 için Şekil 7’de; x=5 için Şekil 8’de sırasıyla verilmiştir.

İzlenen kapalı kıyısal su kütlesi için kirlilik parametreleri dinamiği doğrusal olmayan kısmi diferansiyel birinci mertebe denklemlerinin farklı başlangıç koşullarında (Eş. 2, x=1,2, ...) kesikli zaman çözümleri ile değerlendirilebilir.

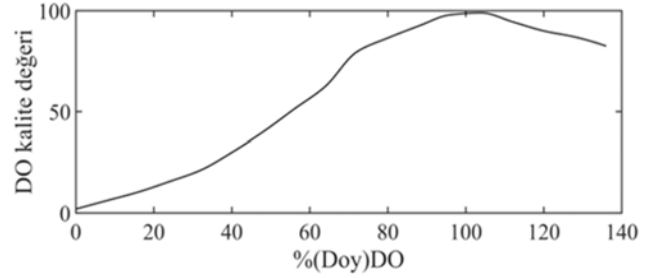
$$\frac{\partial C_{x,i,j,k}}{\partial t} = f(C_{x,i,j,k}, a_i, K) + S_i \quad (2)$$



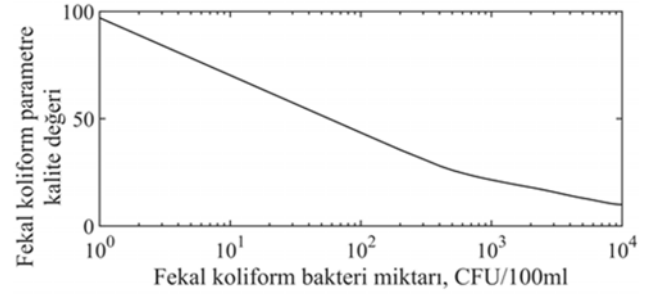
Şekil 2. Bulanıklık ile onun kalite değeri arasındaki ilişki (The relationship between turbidity and its quality value)



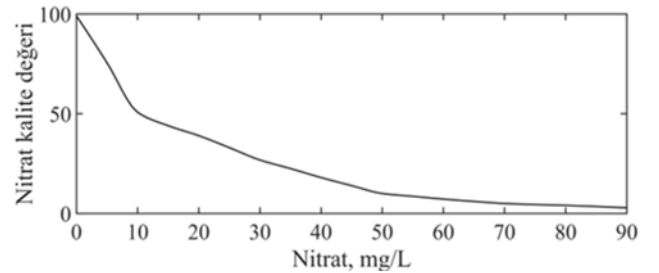
Şekil 3. Toplam askıda katı maddeler ile onun kalite değeri arasındaki ilişki (The relationship between total suspended solids and its quality value)



Şekil 4. Çözülmüş oksijen yüzde doyunluk ile onun kalite değeri arasındaki ilişki (The relationship between % saturation of dissolved oxygen and its quality value)



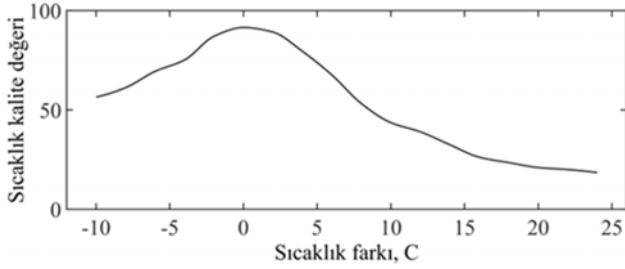
Şekil 5. Fekal koliform bakteri miktarı ile onun kalite değeri arasındaki ilişki (The relationship between faecal coliform bacteria amount and its quality value)



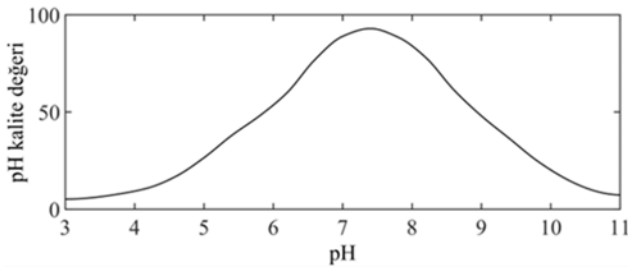
Şekil 6. Nitrat ile onun kalite değeri arasındaki ilişki (The relationship between nitrate and its quality value)

Burada parametrelerin eş zaman adımli sayısal çözümünden veya deneysel eş zamanlı ölçümlerinden zamana göre parametrelerin derişim kesikli verileri elde edilir. Bu verilerden zaman değişkeni yok edilerek parametrelerin eş anlı birbirine göre değişimleri çizilerek faz düzlem analizi gerçekleştirilir [16]. Sistem dinamiği üzerinden (basit model

kullanımının uygun olduğu sistemlerde öz değerler incelenerek kararlılık durumları tahmin edilebilen) karakteristik sistem davranışını anlamak, tasarlamak ve kontrol etmek için faz düzlem analizi önemli öngörü sağlayarak, mühendisliğin ve bilimin birçok dalında kullanılabilir. Faz düzlem çizimleri üzerinden sistem öz değerlerinin içinde bulunduğu bölgelerin kararlılık durumları (kararlı odaklanma gibi) açıkça belirlenebilir [17].



Şekil 7. Sıcaklık farkı ile onun kalite değeri arasındaki ilişki (The relationship between temperature difference and its quality value)



Şekil 8. pH ile onun kalite değeri arasındaki ilişki (The relationship between pH and its quality value)

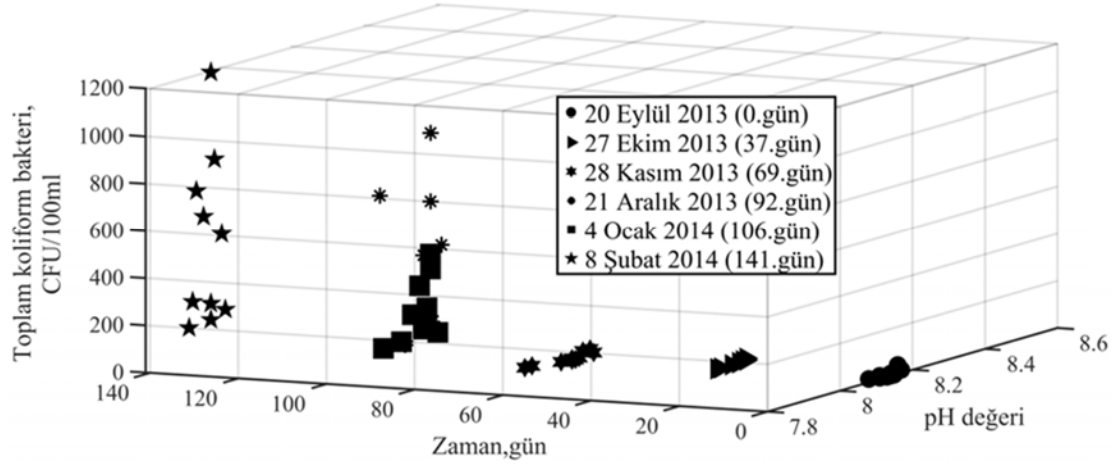
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Zaman ile Kaş ve Bucak körfezlerini içine alan bölgede belirlenen 10 ölçüm noktasında (K1-K10) elde edilen toplam koliform bakteri ve pH değerlerinin zamansal davranışı "cusp" diyagramı ile Şekil 9'da gösterilmiştir. Aynı skala kullanılarak oluşturulan "cusp" diyagramı ile fekal koliform bakteri derişim ve pH değerlerinin mevsimsel davranışı Şekil 10'da verilmiştir. Her iki diyagram karşılaştırıldığında eylül, ekim ve kasım aylarında düşük bakteri derişimi ve benzer bir davranış gözlenmiştir. K10 istasyonu dışında diğer bütün istasyonlarda aralık, ocak ve şubat aylarında benzer davranış görülmüş ve ocak ayında önemli ölçüde hem toplam koliform hem de fekal koliform bakteri derişimi yönünden düşme olmuştur. Bu düşme önemli bir çevresel etki olan ocak ayı ölçüm günlerinde sırası ile 33,4mm ve 1,4mm günlük toplam yağış meydana gelmesi şeklinde alınan numunelerde dış etki varlığı ile değerlendirilmiştir. Şubat ayında K10 istasyonunda toplam koliform bakteri derişimi kılavuz değer olan 1000 CFU/100ml değerini aştığı için fekal koliform yönünden 200 CFU/100ml kılavuz değerinin altında kalınmasına rağmen, "yeterli kalite su [18]" olarak tanımlanmıştır. Sonbahar ve kış aylarında incelenen diğer

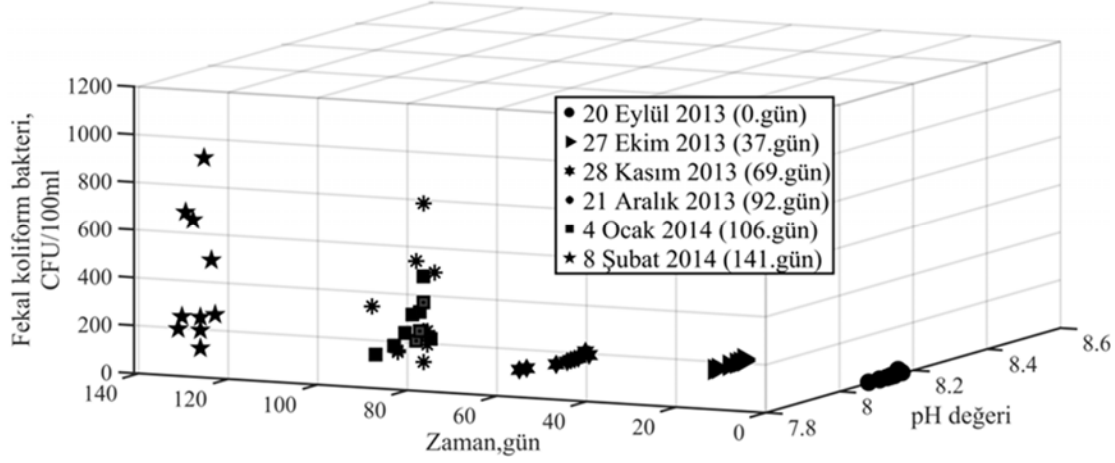
bütün istasyonlar toplam koliform ve fekal koliform bakteri yönünden "iyi kalite su [18]" olarak tanımlanmıştır (Şekil 9, Şekil 10). Şekil 9'da görülen şubat ayı K10 istasyonundaki toplam koliform bakteri miktarındaki yüksek artışın nedenini araştırmak üzere tüm istasyonlarda zamansal olarak çözünmüş oksijen derişimi, sıcaklık ve tuzluluk arası ilişki incelenmiştir (Şekil 11). Tüm istasyonlar düşünüldüğünde (K1-K10) toplam koliform ve fekal koliform bakteriler yönünden incelenen su kütesinin tamamı "yeterli kalite su" tanımına uyması nedeni ile bakteriyel kirliliğin kış aylarında artış göstermesi ile bakteri tarafından tüketilen çözünmüş oksijen miktarı su kütesi DO miktarını etkileyecek boyutta değildir. Su kütesinin içerdiği DO doğrudan su sıcaklığı ve tuzluluk ile Şekil 11'de ilişkilendirilmektedir. Sonbahar aylarından kış aylarına doğru sıcaklık mevsimsel faktör nedeni ile azalmaktadır. Bu azalışın tuzluluk azalışına etkisi olduğu gibi kış aylarında yağışlar da azalışta etkili olabilir. Sıcaklık ve tuzluluğun azalması ile DO miktarında artış Şekil 11'de 10 istasyon için (K1-K10) aynı tip değişim göstermiştir. Ocak ayında DO değerinde ani düşme ölçüm alma günlerinde sırası ile 33,4mm ve 1,4mm günlük toplam yağışın alınan örneklere etkisinin belirgin göstergesidir (Şekil 11). Burada K10 istasyonunun şubat ayında 17°C ile en düşük sıcaklık, 7,62mg/L ile yüksek DO derişimi ve en düşük tuzluluk değeri koşullarındaki tek istasyon olduğu görülmektedir. K10 açık deniz akıntıları ile su alışverişinin olduğu bir noktadır ve burada toplam koliform bakteri derişiminin yüksek olması Şekil 11'de gösterilen ortam özellikleri ile ilgili olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada eş zamanlı saha ölçümleri ile FC - DO, FC - pH, FC - T veri çiftleri elde edilerek faz düzlem eğrileri çizilmiştir. İncelenen su kütesi için faz-düzlem eğrileri (Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14) ok yönünde temsil edilen ekim, kasım, aralık ve şubat ölçüm verileri semboller ile belirtilerek çizilmiştir. Bu çizimler sistem davranışını anlamak üzere kullanılmıştır. On ölçüm noktasında elde edilen (K1-K10) altı aylık dinamik değişimlerin eş zamanlı kullanıldığı faz-düzlem analizi sonucu fekal koliform bakteri derişimi ile çözünmüş oksijen derişiminin zamanla eş anlı hareket çizimleri incelendiğinde 5,61 ile 6,5 mg/L arası çözünmüş oksijen derişim aralığında fekal koliform bakterinin çok az olduğu 6,5-7,62 arası çözünmüş oksijen derişim aralığında fekal koliform bakterinin daha yüksek değerlerde olduğu gösterilmiştir (Şekil 12). Suyun ne oranda çözünmüş oksijen içerebileceği doğrudan su sıcaklığı ile ilgilidir. Düşük su sıcaklıklarında oksijen daha fazla çözünebilir ve bu nedenle su sıcaklığı arttıkça yani sonbahar aylarında kış aylarına göre sudaki çözünmüş oksijen oranı azalır.

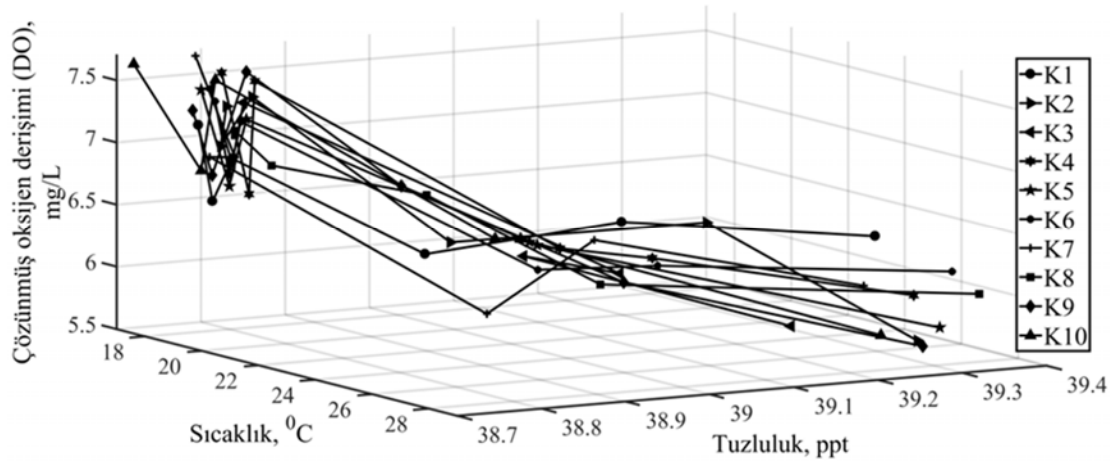
Çalışmanın devamında ocak ayı ölçümleri dışında kalan diğer beş aya ait ölçümler kullanılmıştır. Şekil 12'de verilen karakteristik faz düzlem eğrileri ölçüm alma istasyonları bazında değerlendirilmiştir. K4 ve K2 su giriş istasyonları olup K3 istasyonu üzerinde etkileri vardır. K6 ve K4 toplam fekal bakteri derişimi kış aylarında yüksek olan su giriş noktaları olarak K5 noktası faz düzlem davranışını etkilemektedir.



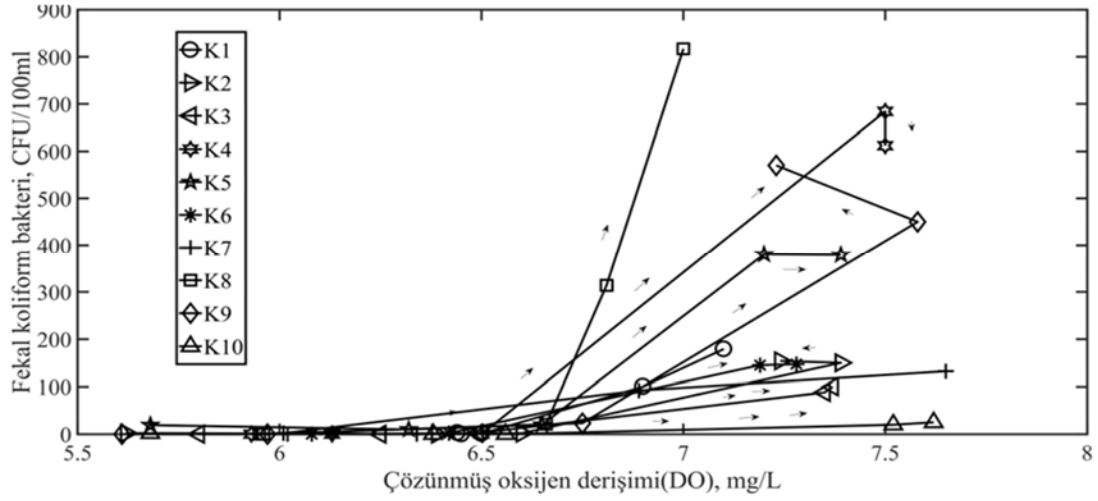
Şekil 9. On ölçüm alma istasyonu için toplam koliform bakteri, pH ve zaman ilişkisi
(Total coliform bacteria, pH and time relation for the ten sampling stations)



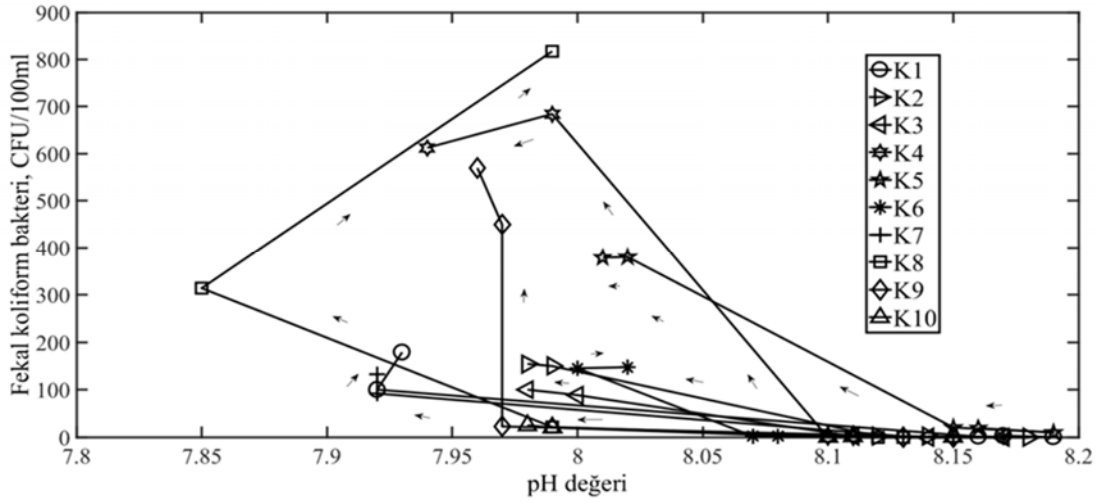
Şekil 10. On ölçüm alma istasyonu için fekal koliform bakteri, pH ve zaman ilişkisi
(Fecal coliform bacteria, pH and time relation for the ten sampling stations)



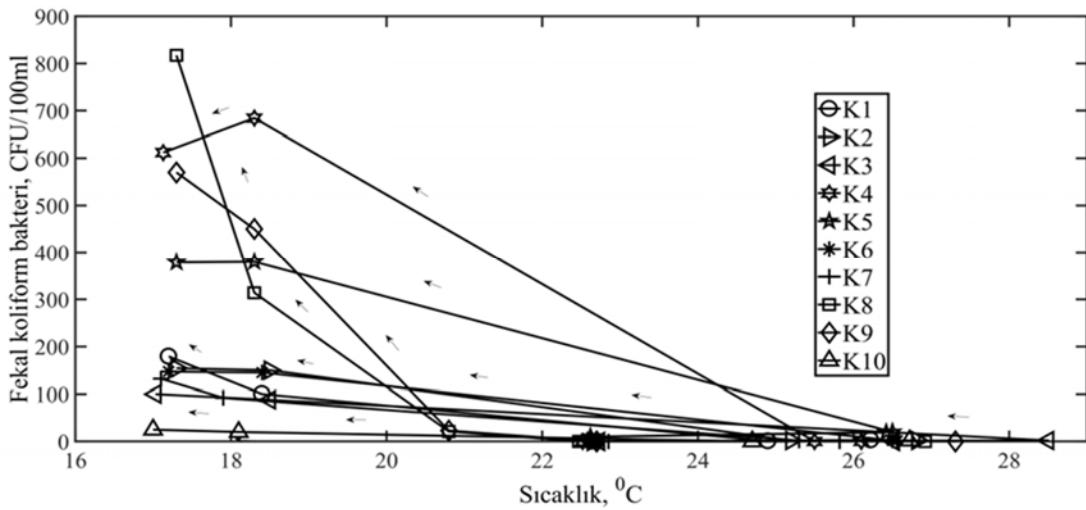
Şekil 11. On ölçüm alma istasyonu için çözünmüş oksijen derişimi, sıcaklık ve tuzluluk ilişkisi
(Dissolved oxygen concentration, temperature and salinity relation for the ten sampling stations)



Şekil 12. On ölçüm alma istasyonu için fekal koliform bakteri derişimi ile çözünmüş oksijen derişimi arasında faz düzlem analizi (Phase plane analysis between faecal coliform bacteria and dissolved oxygen concentration for the ten sampling stations)



Şekil 13. On ölçüm alma istasyonu için fekal koliform bakteri derişimi ile pH değeri arasında faz düzlem analizi (Phase plane analysis between faecal coliform bacteria and pH value for the ten sampling stations)



Şekil 14. On ölçüm alma istasyonu için fekal koliform bakteri derişimi ile sıcaklık arasında faz düzlem analizi (Phase plane analysis between faecal coliform bacteria and temperature for the ten sampling stations)

K7 noktası ise hem K6 hem açık deniz etkisi altında olup fekal koliform bakteri derişimi düşüktür. K10 açık deniz akıntıları ile su alışverişinin olduğu bir istasyon olduğundan fekal koliform bakteri derişimi düşüktür. K8 bir marina girişini temsil etmekte olup kirli su girişi olan bu bölge yüksek fekal koliform bakteri ile K9 noktasını etkilemektedir.

Şekil 13'de K1'den K10'a kadar on ölçüm noktasında elde edilen altı aylık dinamik değişimlerin eş zamanlı kullanıldığı faz-düzlem analizi sonucu fekal koliform bakteri derişiminin 7,85-8,18 pH aralığında değiştiği ve bu iki parametre arasında bir etkileşim olduğu gösterilmiştir. Su yaşam döngüsünü etkileyebilen bir parametre olduğu için pH önemlidir.

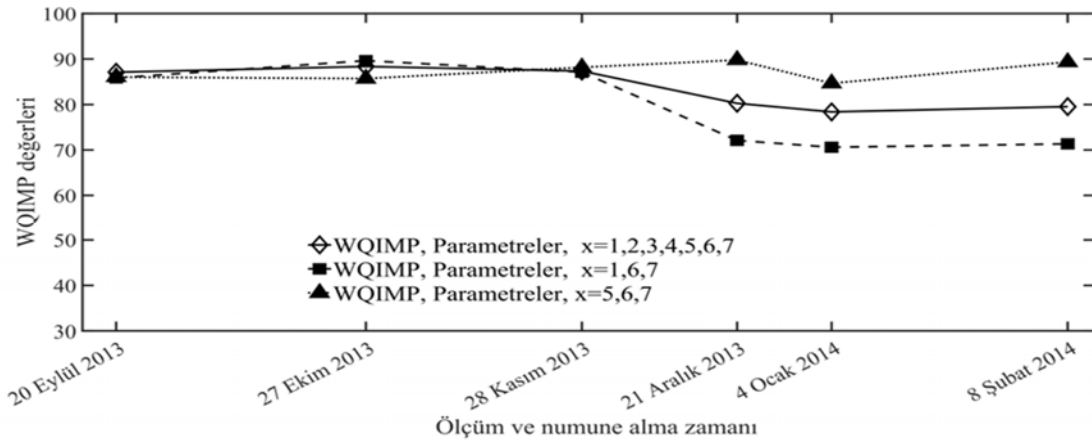
Şekil 14'de K1'den K10'a kadar on ölçüm noktasında faz-düzlem analizi gösterilmiştir. Fekal koliform bakteri derişimi ile su kütlesi yüzeysel sıcaklık değerlerinin zamanla eş anlı hareket çizimleri incelendiğinde 28,5°C'dan 20,8°C değerine kadar sonbahar aylarındaki azalmalar ile fekal koliform bakteri miktarının fazla artmadığı ve çok düşük miktarda olduğu anlaşılmıştır. Sıcaklığın 20°C'nin altına düşmesi ile fekal koliform bakteri değeri artış göstermiştir. Su kütlesi sıcaklığının 18,5-17°C aralığına düştüğü kış aylarında fekal koliform bakterinin daha yüksek değerlerde olduğu gösterilmiştir. İstasyon K4 yat limanı önü gölgesi kış aylarında 18,5-17°C sıcaklık aralığında yüksek miktarda fekal koliform bakteri bulundurmaktadır. Bu bölgeyi K3 ve K1 noktaları takip etmektedir. Su sıcaklığı reaksiyon hızlarını ve çözünmüş oksijen miktarını etkilediği için su kütlelerinde önemli bir parametredir. Bu çalışmada, faz düzlem analizi sonuçları fekal koliform bakteri miktarı üzerinde sıcaklık parametresinin çok etkili olduğunu gösterilmiştir. İstasyon K8 marina girişi bölgesinde fekal koliform kirlilik en yüksek durumdadır. K10 numune alın bölgesinde kış aylarında fekal koliform bakteri miktarı çok düşüktür. Açık deniz etkisi altında kalan bu nokta da dışkısal kaynak miktarı yok denecek durumdadır. Tüm istasyonlarda fekal koliform derişimi zorunlu (2000 CFU/100ml [2]) değerinin %50'sinin altında değerler göstermiştir.

Kaş körfezinde önemli miktarda su girişi olmadığı belirlenen K1, K2, K3, K5 ve K7 istasyonlarından 141 günlük zaman süresince alınan 175 adet numuneden elde edilen ölçümler ile parametreler arası ilişkinin sayısal derecesini göstermek amacı ile istatistiksel veri analizi oluşturulan Matlab programı ile gerçekleştirilmiştir (Tablo 2). Burada iki parametrenin arasındaki doğrusal ilişkinin kuvvetini -1 ile +1 arasında sayısal olarak veren ilişim katsayısı (r) negatif değerler aldığıda parametreler arası ilişkinin zıt yönü olduğunu ifade eder ve mutlak değeri bire yaklaştıkça ilişim kuvvetlenir. Korelasyon değerinin ortaya çıkma olasılığını (p) ilişim katsayılarının istatistiksel anlamlılık değerini gösterir ve p<0,05 olan korelasyon istatistiksel olarak anlamlı kabul edilebilir [19]. Tablo 2 incelendiğinde FK parametresi ile nitrat (r=0,8, p=7,8e-06), pH (r=-0,7, p=4,5e-04), sıcaklık (r=-0,7, p=4,9e-05) ve DO (r=0,7, p=1,0e-04) parametreleri arasında orta kuvvette bir ilişim görülmekte

olup istatistiksel olarak anlamlıdır. Bulanıklık parametresi ile TSS (r=0,9, p=7,7e-10) parametresi arasında ise kuvvetli ve anlamlı bir ilişim bulunmuştur. Kaş Körfezinde K1, K2, K3, K5 ve K7 istasyon ölçümleri ortalaması ($C_{ort}=[K1+K2+K3+K5+K7]/5$) ile tespit edilen derişim değerlerinden altı aylık inceleme süresi boyunca bulunan en düşük (ortalama 6,1 mg/L nitrat değeri için bulunan) parametre kalite değeri ($Q_{x=3}$) 81'dir. Nitrat kılavuz değerinin 0-20 arasında olduğu ve parametre kalite değerinin 100 çok iyi ve 1 çok kötü arasında değerlendirildiği dikkate alınırca, nitrat parametresinin incelenen ortamda kirlilik parametresi olarak su kalitesi indeksleri üzerinde çok etkin olmadığı düşünülebilir. Bu çalışmada, Kaş körfezinde önemli miktarda su girişi olmadığı belirlenen istasyonlardan (K1, K2, K3, K5 ve K7) alınan numune ölçüm ortalamaları kullanarak Matlab ortamında oluşturulan program ile kullanılan parametrelere ait kalite değerleri (Q_x) hesaplanmıştır. Bu parametreler; fekal koliform bakteri (x=1), toplam askıda katı madde miktarı (x=2), nitrat derişimi (x=3), bulanıklık (x=4), pH (x=5), sıcaklık farkı (Tref-T) (x=6), % (doy) DO (x=7) olmak üzere seçilmiştir ve zamana göre yedi parametrelili WQIMP değerleri Eş.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Nitrat kalite değeri üzerine yapılan inceleme ve istatistiksel veri analizi sonuçları dikkate alınarak x=1,6,7 olmak üzere 3 parametre ile ve ayrıca kablosuz eş anlı izlemeye uygunluğu açısından x=5,6,7 olmak üzere 3 parametre ile zamansal WQIMP değerleri hesaplanmıştır (Şekil 15). Yayımlanan su kalitesi durum tanımları [14] kullanılarak su kalite değerlendirmesi yapıldığında altı ay boyunca Kaş körfezi ilgili kapalı kıyısal suları "iyi" durum tanım aralığında kalmıştır. Seçilen farklı sayıda parametre grupları için K1, K2, K3, K5 ve K7 istasyonlarından alınan ölçüm ortalamaları kullanılarak hesaplanan WQIMP değerleri arası istatistiksel anlamlılığı incelemek ve gruplamada etkisi olmayan parametreleri belirlemek üzere istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar oluşturulan yedi farklı parametre grubu için Tablo 3'de verilmiştir. Burada birinci grup FC (x=1), TSS (x=2), nitrat (x=3), bulanıklık (x=4), pH (x=5), (Tref-T) (x=6), % (doy) DO (x=7) olmak üzere yedi parametreden oluşturulmuştur. İkinci grup, birinci gruptan TSS(x=2) parametresi çıkarılarak altı parametrelili; üçüncü grup, ikinci gruptan nitrat (x=3) parametresi çıkarılarak beş parametrelili; dördüncü grup, üçüncü gruptan bulanıklık (x=4) parametresi çıkarılarak dört parametrelili ve beşinci grup dördüncü gruptan pH (x=5) parametresi çıkarılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan bu dört grup birinci grup ile istatistiksel olarak anlamlıdır ve anlamlılık değerleri ($p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{15}$) 0.05 değerinden küçüktür (Tablo 3). Altıncı grup dördüncü gruptan FC (x=1) parametresi çıkarılarak oluşturulmuş üç parametrelili bir gruptur. Bu grup ile hesaplanan WQIMP değerlerinin diğer FC parametresini içeren beş grup ile anlamlılığı sınır değeri civarında bulunmuştur ($0,0494 < p_{16}, p_{26}, p_{36}, p_{46}, p_{56} < 0,0546$). Oluşturulan bu altı grup ile anlamlılık göstermediği Tablo 3 verilerinden açıkça görülen yedinci grup TSS (x=2), nitrat (x=3), bulanıklık (x=4) parametrelerinden oluşturulmuş olan gruptur. Bu parametreler incelenen su kütlesinde kirlilik parametresi olarak görülmemektedir.

Tablo 2. K1,K2,K3, K5 ve K7 istasyonlarından elde edilen ölçümler için istatistiksel analiz
(Statistical analysis for measurements obtained from K1, K2, K3, K5 and K7 stations)

	FK, CFU/100ml (j=1)	TSS, mg/L (j=2)	Nitrat, mg/L (j=3)	Bulanıklık Ntu (j=4)	pH (j=5)	Sıcaklık, °C (j=6)	DO, mg/L (j=7)				
İlgileşim katsayılarını (r_{ij}) ve ilgilileşim katsayılarının istatistiksel anlamlılık değerlerini (p_{ij}) gösteren matris											
FK, CFU/100 ml (i=1)	$r_{11}^=$ 1	$r_{12}^=$ 0,0656	$r_{13}^=$ 0,767	$r_{14}^=$ -0,138	$r_{15}^=$ -0,649	$r_{16}^=$ -0,720	$r_{17}^=$ 0,698				
TSS, mg/L (i=2)	$p_{11}^=$ 1	$p_{12}^=$ 0,755	(*) $p_{13}^=$ 7,836e-06	$p_{14}^=$ 0,509	(*) $p_{15}^=$ 0,000455	(*) $p_{16}^=$ 4,885e-05	(*) $p_{17}^=$ 0,000103				
Nitrat, mg/L (i=3)	$r_{21}^=$ 0,0656	$r_{22}^=$ 1	$r_{23}^=$ 0,270	$r_{24}^=$ 0,902	$r_{25}^=$ 0,0551	$r_{26}^=$ 0,0665	$r_{27}^=$ 0,123				
Bulanıklık, Ntu (i=4)	$p_{21}^=$ 0,755	$p_{22}^=$ 1	$p_{23}^=$ 0,193	(*) $p_{24}^=$ 7,699e-10	$p_{25}^=$ 0,794	$p_{26}^=$ 0,752	$p_{27}^=$ 0,557				
pH (i=5)	$r_{31}^=$ 0,767	$r_{32}^=$ 0,270	$r_{33}^=$ 1	$r_{34}^=$ 0,0679	$r_{35}^=$ -0,793	$r_{36}^=$ -0,841	$r_{37}^=$ 0,7995				
Sıcaklık °C (i=6)	(*) $p_{31}^=$ 7,836e-06	$p_{32}^=$ 0,193	$p_{33}^=$ 1	$p_{34}^=$ 0,747	(*) $p_{35}^=$ 2,291e-06	(*) $p_{36}^=$ 1,431e-07	(*) $p_{37}^=$ 1,629e-06				
DO, mg/L (i=7)	$r_{41}^=$ -0,138	$r_{42}^=$ 0,902	$r_{43}^=$ 0,0679	$r_{44}^=$ 1	$r_{45}^=$ 0,324	$r_{46}^=$ 0,281	$r_{47}^=$ -0,138				
	$p_{41}^=$ 0,509	(*) $p_{42}^=$ 7,699e-10	$p_{43}^=$ 0,747	$p_{44}^=$ 1	$p_{45}^=$ 0,114	$p_{46}^=$ 0,173	$p_{47}^=$ 0,511				
	$r_{51}^=$ -0,649	$r_{52}^=$ 0,0551	$r_{53}^=$ -0,793	$r_{54}^=$ 0,324	$r_{55}^=$ 1	$r_{56}^=$ 0,830	$r_{57}^=$ -0,790				
	(*) $p_{51}^=$ 0,000455	$p_{52}^=$ 0,794	(*) $p_{53}^=$ 2,291e-06	$p_{54}^=$ 0,114	$p_{55}^=$ 1	(*) $p_{56}^=$ 2,812e-07	(*) $p_{57}^=$ 2,601e-06				
	$r_{61}^=$ -0,720	$r_{62}^=$ 0,0665	$r_{63}^=$ -0,841	$r_{64}^=$ 0,281	$r_{65}^=$ 0,830	$r_{66}^=$ 1	$r_{67}^=$ -0,851				
	(*) $p_{61}^=$ 4,885e-05	$p_{62}^=$ 0,752	(*) $p_{63}^=$ 1,431e-07	$p_{64}^=$ 0,173	(*) $p_{65}^=$ 2,812e-07	$p_{66}^=$ 1	(*) $p_{67}^=$ 7,149e-08				
	$r_{71}^=$ 0,698	$r_{72}^=$ 0,123	$r_{73}^=$ 0,7995	$r_{74}^=$ -0,138	$r_{75}^=$ -0,790	$r_{76}^=$ -0,851	$r_{77}^=$ 1				
	(*) $p_{71}^=$ 0,000103	$p_{72}^=$ 0,557	(*) $p_{73}^=$ 1,629e-06	$p_{74}^=$ 0,511	(*) $p_{75}^=$ 2,601e-06	(*) $p_{76}^=$ 7,149e-08	$p_{77}^=$ 1				
p<0,05 koşulunu sağlayan (*) istatistiksel olarak anlamlı değişken çiftleri: [i, j]											
i	3	5	6	7	4	5	7	6	6	7	7
j	1	1	1	1	2	3	3	3	5	5	6

**Şekil 15.** Su kalitesinin farklı sayıda parametre ve onların K1, K2, K3, K5 ve K7 istasyonlarından alınan ölçüm ortalamaları kullanılarak hesaplanan WQIMP ile değerlendirilmesi (Water quality assessment by WQIMP calculated using different number of parameters and their measurement averages obtained from K1, K2, K3, K5 and K7 stations)

Tablo 3. Farklı parametre grupları ile hesaplanan ağırlıklı ortalama su kalite indeksleri için istatistiksel analiz
(Statistical analysis for weighted average water quality indexes calculated with different parameter groups)

	x= 1,2,3,4, 5,6,7 ile WQIMP (j=1)	x= 1,3,4,5, 6,7 ile WQIMP (j=2)	x= 1,4,5,6, 7 ile WQIMP (j=3)	x= 1,5,6,7 ile WQIMP (j=4)	x= 1,6,7 ile WQIMP (j=5)	x= 5,6,7 ile WQIMP (j=6)	x= 2,3,4 ile WQIMP (j=7)				
İlgileşim katsayılarını (r_{ij}) ve ilgileşim katsayılarının istatistiksel anlamlılık değerlerini (p_{ij}) gösteren matris											
x= 1,2,3,4, 5,6,7 ile WQIMP (i=1)	$r_{11}^=$ 1 $p_{11}^=$ 1	$r_{12}^=$ 0,9999 $p_{12}^=$ 1,822e-06	$r_{13}^=$ 0,9995 $p_{13}^=$ 1,346e-05	$r_{14}^=$ 0,9992 $p_{14}^=$ 2,921e-05	$r_{15}^=$ 0,9983 $p_{15}^=$ 8,329e-05	$r_{16}^=$ -0,8726 $p_{16}^=$ 0,05354	$r_{17}^=$ -0,33265 $p_{17}^=$ 0,5844				
x= 1,3,4,5, 6,7 ile WQIMP (i=2)	$r_{21}^=$ 0,9999 $p_{21}^=$ 1,822e-06	$r_{22}^=$ 1 $p_{22}^=$ 1	$r_{23}^=$ 0,9995 $p_{23}^=$ 1,260e-05	$r_{24}^=$ 0,9987 $p_{24}^=$ 5,781e-05	$r_{25}^=$ 0,9976 $p_{25}^=$ 0,000144	$r_{26}^=$ -0,8775 $p_{26}^=$ 0,05052	$r_{27}^=$ -0,3245 $p_{27}^=$ 0,5942				
x= 1,4,5,6, 7 ile WQIMP (i=3)	$r_{31}^=$ 0,9995 $p_{31}^=$ 1,346e-05	$r_{32}^=$ 0,9995 $p_{32}^=$ 1,260e-05	$r_{33}^=$ 1 $p_{33}^=$ 1	$r_{34}^=$ 0,9993 $p_{34}^=$ 2,278e-05	$r_{35}^=$ 0,9987 $p_{35}^=$ 5,695e-05	$r_{36}^=$ -0,8792 $p_{36}^=$ 0,04949	$r_{37}^=$ -0,3467 $p_{37}^=$ 0,5676				
x= 1,5,6,7 ile WQIMP (i=4)	$r_{41}^=$ 0,9992 $p_{41}^=$ 2,921e-05	$r_{42}^=$ 0,9987 $p_{42}^=$ 5,781e-05	$r_{43}^=$ 0,9993 $p_{43}^=$ 2,278e-05	$r_{44}^=$ 1 $p_{44}^=$ 1	$r_{45}^=$ 0,9998 $p_{45}^=$ 4,058e-06	$r_{46}^=$ -0,8764 $p_{46}^=$ 0,05119	$r_{47}^=$ -0,3710 $p_{47}^=$ 0,5387				
x= 1,6,7 ile WQIMP (i=5)	$r_{51}^=$ 0,9983 $p_{51}^=$ 8,329e-05	$r_{52}^=$ 0,9976 $p_{52}^=$ 0,000144	$r_{53}^=$ 0,9987 $p_{53}^=$ 5,695e-05	$r_{54}^=$ 0,9998 $p_{54}^=$ 4,058e-06	$r_{55}^=$ 1 $p_{55}^=$ 1	$r_{56}^=$ -0,8710 $p_{56}^=$ 0,05452	$r_{57}^=$ -0,3849 $p_{57}^=$ 0,5223				
x= 5,6,7 ile WQIMP (i=6)	$r_{61}^=$ -0,8726 $p_{61}^=$ 0,05354	$r_{62}^=$ -0,8775 $p_{62}^=$ 0,05052	$r_{63}^=$ -0,8792 $p_{63}^=$ 0,04949	$r_{64}^=$ -0,8764 $p_{64}^=$ 0,05119	$r_{65}^=$ -0,8710 $p_{65}^=$ 0,05452	$r_{66}^=$ 1 $p_{66}^=$ 1	$r_{67}^=$ 0,3965 $p_{67}^=$ 0,5087				
x= 2,3,4 ile WQIMP (i=7)	$r_{71}^=$ -0,3327 $p_{71}^=$ 0,5844	$r_{72}^=$ -0,3245 $p_{72}^=$ 0,5942	$r_{73}^=$ -0,3467 $p_{73}^=$ 0,5676	$r_{74}^=$ -0,3710 $p_{74}^=$ 0,5387	$r_{75}^=$ -0,3849 $p_{75}^=$ 0,5223	$r_{76}^=$ 0,3965 $p_{76}^=$ 0,5087	$r_{77}^=$ 1 $p_{77}^=$ 1				
p<0.05 koşulunu sağlayan (*) istatistiksel olarak anlamlı değişken çiftleri: [i,j]											
i	2	3	4	5	3	4	5	4	5	6	5
j	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4

4. SİMGELER (SYMBOLS)

a_i : “i” hesaplanan kısım ile komşu kısımarası su değişim hızı (m/gün)
 C_{ort} : K1,K2,K3,K5 ve K7 noktaları parametre değerlerinin aritmetik ortalaması

$C_{x_{i,j,k}}$: i,j,k koordinatlarındaki x parametresi derişimi, (mg/L)
 $f(C_{x_{i,j,k}}, a_i, K)$: $C_{x_{i,j,k}}$, a_i ve K parametrelerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyon
 K : su kalitesi parametresinin fiziksel şartlara ve diğer parametrelere göre derişimi, (1/gün)

p : istatistiksel anlamlılık değeri
 Qx : x indisi ile gösterilen parametrenin kalite değeri
 r : doğrusal ilişki kuvvetini veren ilgililişim katsayısı
 S_i : “i” hesaplanan kısma gelen toplam kirlilik yükü, (mg/L/gün)
 Tref : referans sıcaklık yüzeyden -10m derinlikteki değeri
 T : sıcaklık yüzeyden -0,5m derinlikteki değeri
 Wx : x indisi ile gösterilen parametrenin ağırlık faktörü

4.1. Kısaltmalar (Abbreviations)

DO : çözülmüş oksijen
 FC : fekal koliform bakteri
 HYDROTAM-3D: üç boyutlu hidrodinamik taşınım modeli
 K1 : Kaş bölgesi kapalı kıyısal sularındaki bir istasyon kodu
 MATLAB : matris laboratuvarı olarak geliştirilen yazılım ortamı
 OMGİ : otomatik meteoroloji gözlem istasyonları
 TC : toplam koliform bakteri
 TSS : toplam askıda katı madde
 WQIMP : farklı parametre grupları ile hesaplanan ağırlıklı ortalama su kalite indeksi
 x=1, 2, 3, 4, 5 : parametreler; FC(x=1), TSS(x=2), nitrat(x=3) bulanıklık(x=4), pH(x=5),
 x=6, 7, 8, 9 : parametreler; {Tref-T}(x=6), % (doy) DO (x=7), DO (x=8), T (x=9)
 % (doy) DO : DO değerinin 100 katının %100 doygun DO değerine oranı

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Aynı ölçekte çizilen “cusp” diyagramları kullanılarak FC ve TC arası ilişki karşılaştırıldığında aralık ve şubat ayı en yüksek bakteri derişimleri ile benzerlik göstermiştir. Aralık ve şubat aylarında su kütlesini temsil etmekte kullanılan istasyonlardan biri olan K7 istasyonunda TC, 136 CFU/100ml derişim değerinde sabit kalırken FC aralık ayında 92 CFU/100ml, şubat ayında ise 132 CFU/100ml değerleri ile %44 artış göstermiştir. İzlenen zaman aralığında TC, 1188 CFU/100ml ile en yüksek derişime şubat ayında K10 istasyonunda ulaşmakta olup bu değer kalite değerlendirmesi “iyi” olduğundan bu parametrenin izlenen bölgede kirlilik etkisi olmadığı değerlendirilmiştir. FC en yüksek değerlerine sırasıyla aralık ve şubat aylarında 682 CFU/100ml ve 612 CFU/100ml ile K4 yat limanı önünü temsil eden istasyonda ulaşmıştır.

Bu bulgular ışığında FC parametresine önemli bir kirlilik parametresi olarak tüm faz düzlem analizlerinde sistem davranışını anlamak ve anlamlı su kalitesi izleme grupları tasarlamak için faydalı bilgi edinmek üzere yer verilmiştir. Faz düzlem analizi sonucu FC - DO, FC - pH ve FC - T parametre çiftleri arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu değerlendirilmiştir. İstatistiksel anlamlılık araştırmalarında bu bulgular temel alınarak WQIMP için parametre grupları tasarlanmıştır. Geleceğe yönelik farklı zaman aralıklarında aynı grafik üzerinde farklı başlangıç noktaları ile faz düzlem

çizimlerine devam edilmesi halinde incelenen bölgeye ait kararlılık durumlarını belirleme olanağı sağlanabilecektir. Sayısal veriler sağlamak ve bu veriler üzerinden yukarıdaki değerlendirmelerin kontrol edilmesi açısından seçilen parametreler arasında istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. FC ile sırası ile nitrat (p=7,8e-06), pH (p= 4,6e-04), T (4,9e-05), DO (p=1,0e-04) arasında anlamlılık olduğu p değerleri ile sayısallaştırılmıştır. İncelenen su kütlesinde nitratın ölçüm değerlerinin yüksek parametre kalite sayısı oluşturduğu (Q_{x=3}>80) önemli kirlilik etkisi sağlamadığı değerlendirilmiştir.

Oluşturulan farklı parametre grupları ile hesaplanan WQIMP değerleri arasında sayısal analiz gerçekleştirilerek, bu araştırmada vurgulanan bulgular güçlendirilmiştir. Araştırılan bölgede x=1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 ile hesaplanan WQIMP'ye göre x=1, 6 ve 7 parametrelerinden oluşan WQIMP (p=8,3e-05) ile izleme yapmak anlamlı bulunmuştur. TSS, Nitrat ve bulanıklık parametreleri ile oluşturulan WQIMP değerlerinin (p her inceleme durumu için 0,5'den daha büyük hesaplandığı için) anlamlı olmadığı değerlendirilmiş ve bu parametrelerin önemli kirlilik yaratmadığı vurgulanmıştır. FC parametresini içeren x=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; x=1, 3, 4, 5, 6, 7; x=1, 4, 5, 6, 7; x=1, 5, 6, 7; x=1, 6, 7 grupları ile hesaplanan WQIMP değerleri ile x=5, 6, 7 parametrelili WQIMP değerleri arasında p değeri 0,055 den küçük olan anlamlılık sınırında olarak değerlendirilebileceğimiz bir bağlantı hesaplanmıştır. Bu üç parametrelili WQIMP değerinin kablosuz izlenebilme olanağı nedeni ile x=1, 6, 7 parametre gruplu WQIMP ile üç parametrelili indeks kullanılarak izlenmesi çok parametrelili indeks kullanımına alternatif olarak önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu araştırma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: 14L0443001, 2016

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gurun S., Kımıran E.A., Ayamama Deresi'nin Marmara Denizi'ne deşarj alanındaki bakteriyolojik kirlilik düzeyinin incelenmesi, Ekoloji 22, 86, 48-57, 2013.
2. Aydınol F.I.T, Kanat G., Bayhan H., Sea water quality assessment of Prince Islands' Beaches in İstanbul, Environmental Monitoring and Assessment (Environ. Monit Asses.), 184, 149-160, 2012.
3. Numanoğlu Genç A., Modeling of sediment transport processes in Alara, Turkey, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (3), 545-553, 2016.
4. Yılmaz N., Modeling of wid climate, wave climate and current pattern in Samsun Bay coastal waters, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33(1), 279-297, 2018.
5. Kır İ., Erdoğan M., Engin M. S., Determination of nitrite, nitrate, phosphate and fluoride quantities in water and sediment of Eğirdir Lake, Turkey, Suleyman

- Demirel University Journal of Natural and Applied Science 19 (2), 129-132, 2015.
6. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Yerüstü su kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ve Ekleri, Resmi Gazete, Yayın Tarihi: 10.08.2016, No: 29797, 2016.
 7. Campos C.J.A., Kershaw S. R., Lee R. J. Environmental Influences on Faecal Indicator Organisms in coastal waters and their accumulation in bivalve shellfish, *Estuaries and Coasts (Estuaries Coasts)*, 36, 838-853, 2013.
 8. Xiangpeng K., Shuhong Y., The impact of water temperature on water quality indexes in north of Liaodong Bay, *Marine Pollution Bulletin (Mar. Pollut. Bull.)*, 80, 245-249, 2014.
 9. An Y.J., Kampbell D.H., Breidenbach G.P. Escherichia coli and total coliforms in water and sediments at lake marinas, *Environmental Pollution (Environ. Pollut.)*, 120, 771-778, 2002.
 10. Lopez M., Martinez S., Gomez J.M., Herms A., Tort L., Bausells J., Errachid A., Wireless monitoring of the pH, NH_4^+ and temperature in a fish farm, *Procedia Chemistry (Procedia Chem.)*, 1, 445-448, 2009.
 11. Aldemir A., Hapoğlu H., Comparison of wireless temperature profiles with generalized predictive control, *Journal of Polytechnic*, 19 (3), 377-387, 2016.
 12. Capella J.V., Bonastre A., Ors R., Peris M., A Wireless Sensor Network approach for distributed in-line chemical analysis of water, *Talanta* 80, 1789-1798, 2010.
 13. Capella J.V., Bonastre A., Ors R., Peris M., In line river monitoring of nitrate concentration by means of a Wireless Sensor Network with energy harvesting, *Sensors and Actuators B (Sens. Actuators, B)*, 177 419-427, 2013.
 14. Srivastava G., Kumar P., Water quality index with missing parameters, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2 (4) 609-614, 2013.
 15. Cebe K., Balas L., Water quality modelling in Kaş bay, *Applied Mathematical Modelling (Appl. Math. Modell.)*, 40, 1887-1913, 2016.
 16. Bequette B.W., *Process Dynamics Modeling, Analysis, and Simulation*, Prentice Hall, New Jersey, A.B.D., 2002.
 17. Altuntaş S., Hapoğlu H., Control of adiabatic continuous stirred tank reactor at an unstable operating point, *Bulgarian Chemical Communications*, 48 (Special C), 14-19, 2016.
 18. Altuğ G., Çardak M., Çiftçi Türetken P.S., Marmara Denizinin Mevcut Kirlilik Kaynakları ve Yansımalar, *Derdimiz, Değerimiz, Denizimiz: Marmara*, Cilt 79, Editör: Kahraman A.C., T.C. Marmara Belediyeler Birliği, İstanbul, Türkiye, 63-74, 2013.
 19. Kocakoç İ.D., *Matlab ve İstatistiksel Veri Analizi*, Nobel Yayın Dağıtım, Türkiye, 2010.

