



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

***CANAKKALE ONSEKİZ MART UNIVERSITY
JOURNAL OF ADVANCED
RESEARCH IN NATURAL AND
APPLIED SCIENCES***



Önsöz

Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi Fen, Mühendislik, Doğa ve Temel bilimler alanlarında daha önce yayımlanmamış orijinal araştırma makalesi, derleme yazılar, teknik not türünde araştırmaları yayınlayan ulusal ve uluslararası indekslerde taranan, hakemli ve bilimsel bir dergidir. Aralık 2015’de Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi adı altında kurulmuş ve yılda iki sayı yayımlayan dergimiz, 16 Haziran 2020 tarihinden itibaren Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından çıkarılmaya başlanmıştır. 2021 yılı itibari ile Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi’nin Mart, Haziran, Eylül, Aralık olmak üzere yılda dört sayı yayınlanması planlanmaktadır. Dergimize yayınlanmak üzere gönderilen bütün makaleler, editör, yayın, danışma kurulu ve hakemler tarafından değerlendirilmektedir. Tr-Dizin’de taranan Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi İngilizce ve Türkçe dillerinde yayın yapmakta olup, 2021 yılı itibari ile daha çok İngilizce yayımlara ağırlık verilmesi amaçlanmaktadır. Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi’nin 6.cilt 2.sayısında 16 adet araştırma makalesi yayına kabul edilmiştir.

CONTENTS / İÇİNDEKİLER
(2020, 6:2)

Articles & Authors / Makaleler & Yazarlar	Pages / Sayfa No
<p>Farklı Marinasyon Formülasyonları ile Hazırlanmış Hindi Göğüs Etleri-nin Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Duyusal Özellikleri</p> <p>Some Physical, Chemical and Sensory Properties of Turkey Breast Meat Prepared with Different Marinade Formulations</p> <p>Sinem Akyüz, Onur Güneşer*, Büşra Nur Esen</p> <p>Research/Araştırma</p>	190-205
<p>Origanum onites ve Ocimum basilicum'un bla_{CTX-M} Pozitif Enterobacteriaceae Üzerine Antimikrobiyal Etkisi</p> <p>Antimicrobial Effect of Origanum onites and Ocimum basilicum on bla_{CTX-M} Positive Enterobacteriaceae</p> <p>Seda Özdikmenli Tepeli*</p> <p>Research/Araştırma</p>	206-216
<p>Deniz Ekosisteminde Bakteriyel Roller; Türkiye Denizleri Örneği</p> <p>Bacterial Roles in the Marine Ecosystem; A Sample Case of Turkish Marine Bacteria</p> <p>Gülşen Altuğ*, Mine Çardak, Pelin S. Çiftçi Türetken, Sevan Gürün, Samet Kalkan</p> <p>Research/Araştırma</p>	217-230
<p>Sızma Zeytinyağı Fenoliklerinin İnsan Periferik Kan Mononükleer Hücrelerinde Oksidatif Mitokondriyal ve Nükleer DNA Hasarına Karşı Etkisi</p> <p>The Effect of Virgin Olive Oil Phenolics Against Oxidative Mitochondrial and Nuclear DNA in Human Peripheral Blood Mononuclear Cells</p> <p>Özlem Erol Tınaztepe*</p> <p>Research/Araştırma</p>	231-238
<p>Betonların Elastik Modül Hesabında Poisson Oranının Önemi</p> <p>The Importance of Poisson Ratio in the Calculation of Elastic Modulus of Concrete</p> <p>Nevbahar Ekin*</p> <p>Research/Araştırma</p>	239-252



<p>Çanakkale Boğazı, Özbek Denizel Sekisi Oluşum Yaşı için ESR Tekniği ile bir Ön Değerlendirme</p> <p>A Preliminary Evaluation for the Formation Age of Özbek Marin Terrace, Çanakkale Strait with ESR Technique</p> <p>Tolga Komut*, Sevinç Kapan</p> <p>Research/Araştırma</p>	253-263
<p>O-C Analysis of Algol-type Eclipsing Binary UU And</p> <p>Algol-türü Örtün Çift UU And'ın O-C Analizi</p> <p>Oğuz Öztürk*</p> <p>Research/Araştırma</p>	264-270
<p>Ekmeklik Buğdayda Saman Malçının Fotosentezle İlişkili Bazı Tarımsal Özelliklere ve Verime Etkisi</p> <p>The Effect of Straw Mulching on Some Traits Related to Photosynthesis and Yield in Bread Wheat</p> <p>Muhammed Alim Yılmaz*, Aydın Akkaya</p> <p>Research/Araştırma</p>	271-282
<p>Termal Turizm Yapıları Özelinde Mimari Kimlik Analizi ve Etkileşim Şemasının Oluşturulması: Pamukkale – Karahayıt Örneği</p> <p>The Analysis of Architectural Identity and Formation of Interaction Scheme of Thermal Tourism Buildings: Pamukkale - Karahayıt Case</p> <p>A. Begüm Aköz Çevrimli*, Şefika Gülin Beyhan</p> <p>Research/Araştırma</p>	283-302
<p>A Wet-Stock Management And Leak Detection System For Fuel Tanks</p> <p>Yakıt Tankları İçin Bir Stok Yönetimi ve Sızıntı Tespit Sistemi</p> <p>Ayşe Nur Dalman*, M. Oluş Özbek</p> <p>Research/Araştırma</p>	303-316
<p>Influence of A Novel Catalysis on The Pyrolysis Yields Obtained by Two Different Reactors</p> <p>Yeni Bir Katalizörün İki Farklı Reaktör Tarafından Elde Edilen Piroliz Verimine Etkisi</p> <p>Mert Kılınçel* Ethem Toklu, Fikret Polat</p>	317-327



Research/Araştırma	
Estimation of the Climate Preference Between Two Lineages of European Ground Squirrel Using Maximum Entropy Modeling Maksimum Entropi Modelleme Kullanarak Avrupa Yer Sincabı'nın İki Soyhattı Arasındaki İklim Tercihinin Tahmini Sadık DEMİRTAŞ Research/Araştırma	328-341
Reduction Behaviour of Olanzapine and Its Differansiyel Puls Voltammetric Determination in Human Urine and Pharmaceuticals Olanzapin'in İndirgenme Davranışının İncelenmesi ve İlaçlar ile İnsan İdrarında Diferansiyel puls Tekniği ile Tayini Sultan Yağmur Kabaş* Research/Araştırma	342-352
Identification of Leverage Points in Principal Component Regression and r-k Class Estimators with AR(1) Error Structure AR (1) Hata Yapısı ile Temel Bileşen Regresyon ve r-k Sınıf Tahminlerinde Kaldıraç Noktalarının Belirlenmesi Tuğba Söküt Açar* Research/Araştırma	353-363
Monte Carlo Simulation of the Gamma-Ray Transmissions for the newly Designed Shielding Blocks used in Radiotherapy Radyoterapide Kullanılan Yeni Tasarlanmış Koruyucu Blokların Gama Işını Geçirgenliklerinin Monte Carlo Simülasyonu Nuray Yavuzkanat*, Hazal Burcu Saraç Kürem Research/Araştırma	364-377
Sındırgı Fayı ve Düvertepe Fay Zonu Yakın Civarının Kinematik ve Sismotektonik Özellikleri: Batı Anadolu (Türkiye) Kinematic and Seismotectonic Properties of Sındırgı Fault and Düvertepe Fault Zone Surroundings: West Anatolia (Turkey) Erdem Gündoğdu*, Süha Özden, Tolga Bekler Research/Araştırma	378-395



Farklı Marinasyon Formülasyonları ile Hazırlanmış Hindi Göğüs Etlerinin Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Duyusal Özellikleri

Sinem Akyüz¹, Onur Güneşer^{1,*}, Büşra Nur Esen¹

¹Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye

Makale Tarihçesi

Gönderim: 12.12.2019
Kabul: 10.08.2020
Yayın: 29.12.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Bu çalışmada elma sirkesi, zeytin yağı, yoğurt ve çeşitli katkı maddeleri ile hazırlanmış acılı ve acısız marinasyon formülasyonlarının hindi göğüs etinin bazı fiziksel kimyasal ve duyusal özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, marine edilmiş pişirilmiş hindi göğüs eti örneklerinde L^* , Hue ve $Chroma$ değerleri, sertlik, çiğnenebilirlik, iç yapışkanlık, dış yapışkanlık, kırılgeçirgenlik ve sakızimsılık gibi tekstürel özellikler, genel kompozisyon ve uçucu bileşen profili belirlenmiştir. Ayrıca, hindi göğüs etlerine tüketici testi uygulanmıştır. Sonuç olarak, örneklerin iç bölge L^* ve $Chroma$ değerlerinde önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik özellikleri açısından hindi göğüs eti örnekleri arasında önemli farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre, en yüksek sertlik değerinin yoğurt-acısız formülasyonu ile marine edilen örneklerinde belirlenirken, zeytinyağı-acılı formülasyonu ile marine edilen örnekler en düşük sertlik değerine sahiptir. Kimyasal özellikleri bakımından da göğüs eti örnekleri arasında önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Örneklerde toplam 34 adet uçucu bileşen belirlenmiştir. Hindi göğüs eti örneklerinde belirlenen uçucu bileşenler çoğunlukla baharatlardan gelen γ -terpinen, β -pinen, terpinolen gibi terpen türevli bileşiklerdir. Tüketici testi sonucunda, zeytinyağı ile marine edilmiş göğüs eti örneklerinin elma sirkesi ve yoğurt ile ayrı ayrı marine edilmiş örneklerden daha yüksek beğeni skoruna sahip olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler – Hindi göğüs eti, marinasyon, tekstürel özellikler, uçucu bileşenler, duyusal analiz

Some Physical, Chemical and Sensory Properties of Turkey Breast Meat Prepared with Different Marinade Formulations

¹Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Usak University, Usak, Turkey

Article History

Received: 12.12.2019
Accepted: 10.08.2020
Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – In this study, it was aimed to investigate the effects of hot and mild marinade formulations prepared apple vinegar, olive oil, yogurt and various additives on some physical, chemical and sensory properties of turkey breast meat. For this purpose, L^* , Hue and $Chroma$ values, textural properties such as hardness, chewiness, adhesiveness, cohesiveness, fracturability and gumminess, general composition and volatile profile in the marinated cooked turkey breast meat samples were determined. Consumer test on the turkey breast meat samples was also conducted. As a result, significant differences were observed in L^* and $Chroma$ values of inside of the samples. Significant differences were determined between the turkey breast meat samples in terms of hardness, chewiness and gumminess. According to this, the highest hardness value was determined in the sample marinated with yogurt-mild marinade formulation while the samples marinated with olive oil-hot marinade formulation had the lowest hardness value. Significant differences were also observed in the turkey breast meat samples in terms of chemical properties. Total 34 volatile compounds were determined in the samples. Volatile compounds determined in the turkey breast meat samples, which mainly came from spices, were terpenic compounds such as γ -terpinene, β -pinene and terpinolene. As a results of consumer test, it was found that the samples marinated with olive oil had higher liking scores than both samples marinated with yogurt and apple cider, separately.

Keywords – Turkey breast meat, marination, textural properties, volatile compounds, sensory analysis

¹ sinemakyuz35@gmail.com

² onur.guneser@usak.edu.tr

³ yansekizbne@gmail.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Gıdaların tercih edilmesinde en önemli kriterlerin başında duyuşal özellikler gelmektedir. Et ve et ürünleri için duyuşal özelliklerden olan gevreklik ve sululuk etin lezzetini ve aromasını ortaya çıkarmaktadır. Etin gevrekliği; etin dişler arasında kesilmesi ve çiğnenmeye karşı gösterilen direnç olarak tanımlanırken, etin sululuğu ise etin çiğnenmesi esnasında yağ ve su içeriğinden dolayı çıkardığı özsuşun verdiği his olarak belirtilmektedir (Ergezer, 2005; Gibson, 2018; Smith ve Carpenter, 1976). Her iki duyuşal özelliğın değişimi birçok faktöre bağlı olup etin orijini ve etin işlenmesi sırasında gerçekleştirilen işlemlerden çok yüksek düzeyde etkilenmektedir. Özellikle kaba ve sert yapıya sahip olan kanatlı etlerinin gevrekliğini ve sululuğunu artırmak için marinasyon işleminin yapılmasının gerekliliği birçok araştırmacı tarafından bildirilmektedir (Alvarado ve Mckee, 2007; Bianchi vd., 2009; Ergezer, 2005).

Marinasyon; etin pişirilmeden önce etleri yumuşatmak, sululuğunu ve lezzetini geliştirilmek için farklı baharat karışımları ile birlikte su, sirke ve yağ gibi farklı asitliklere sahip sıvılarla muamele edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Ergezer ve Gökçe, 2011; Kahraman vd., 2010). Marinasyon, etin tat, renk ve doku gibi duyuşal özelliklerini iyileştirdiği gibi su tutma kapasitesi, pişirme verimi, pişirme kayıplarını azaltma gibi fonksiyonel özelliklerini de geliştirmek için uygulanmaktadır. Marinasyonda farklı baharatlar, doğal renk ve aroma maddelerinin kullanılması ile tüketicilere farklı renk, şekil ve lezzetlerde et ve et ürünlerinin sunulması gerçekleştirilebilmektedir. Tüm bunların yanında, marinasyonda kullanılan baharatların antimikrobiyel özellikte olmaları (örn: kekik-timol, biberiye-karnosik asit) ürünün gıda güvenirliliğinin artmasını da sağlamaktadır (Baydar, 2016; Doğu, 2009; Yusop vd., 2011).

Endüstriyel olarak marinasyon işleminde kullanılan marinasyon sıvısının içerisinde genellikle tuz, fosfat, şeker, süt, yağ, sirke, yoğurt, baharatlar vb. bileşenler bulunmaktadır. Marinasyon sıvısında kullanılan bu bileşenlerin her birinin et ürünlerinin üzerine farklı etkileri bulunmaktadır. Marinasyon sıvısında kullanılan tuz ve fosfatlar etin pH'sını, miyofibril yapısındaki proteinleri itme kuvvetiyle ayırarak su bağlama kapasitesinde artış sağlamasına, nem düzeyinin değişmesine ve böylelikle gevrekliğin artmasına, etin tekstürünün gelişmesine yardımcı olmaktadır. Kullanılan baharatlar antimikrobiyel etkilerinin yanı sıra kanatlı etlerine aroma-lezzet katmak ve kanatlı etlerindeki istenmeyen aromanın giderilmesini de sağlamaktadırlar (Bor, 2011; Deniz, 2009; Yusop vd., 2011). Marinasyon sıvısındaki sirke, yoğurt, şarap ve meyve suyu gibi sıvılar marinasyon ortam pH sınırın düşmesini sağlayarak ürünlere uzun raf ömrü sağlamaktadır (Deniz, 2009; Ergezer ve Gökçe, 2004). Marinasyon sıvısındaki asetik asit, laktik asit ve sitrik asit gibi zayıf organik asitler ise aroma ve lezzet geliştirmede önemli bileşenlerdir (Bor, 2011; Varlık vd., 1993). Organik asitlerin marinasyon işleminde temel kullanım nedeni etlerin yumuşatılması ve böylelikle tatlandırılmalarıdır. Literatürde, marinasyon işleminde organik asit kullanımının marinasyon işlem süresini kısalttığı yönünde bulgular da bulunmaktadır (Varlık vd., 1993; Yusop vd., 2010). Marinasyonda kullanılan bileşenlerin kalitesi ve marine edilecek etin elde edildiği gövde bölgesi marinasyon işlemini önemli derecede etkilemektedir (Ergezer ve Gökçe, 2004; Post ve Heath, 1983). Örneğın; kanatlı göğüs etlerine but etlerinden daha çok marinasyon sıvısının nüfuz ettiği bildirilmiştir. Diğer taraftan, et çeşidi pişirme kayıplarını önemli derecede etkilerken, marinasyon süresi ve sıcaklığını etkilememektedir. Nitekim tavuk bağetlerinde (drumstick) tavuk göğüs ve sarma (üst but, thigh) etlerine göre daha az pişirme kaybı görülmektedir (Post ve Heath, 1983).

Kanatlı göğüs eti but etine göre daha düşük yağ oranına sahiptir. Bu nedenle, tüketiciler tarafından kanatlı göğüs etinin sert ve daha yavan bir lezzete sahip olduğu ifade edilmektedir. Marinasyon işlemi ile kanatlı etlerinin renk, sululuk, gevreklik ve lezzet gibi duyuşal kalite özelliklerinin iyileştirilebilmektedir (Ergezer ve Gökçe, 2004; Post ve Heath, 1983). Bu çerçevede, planlanan bu çalışmada; (1) farklı formülasyonlarda marinasyona tabi tutulan hindi göğüs etlerinin pişirildikten sonra tüketiciler tarafından tercih edilebilirliği, (2) aroma ve lezzet açısından geliştirilen marinasyon formülasyonlarının hindi göğüs etlerine uygunluğunun araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada özel bir tavuk kesimhanesinde kesilmiş, temizlenmiş ve dilimlenmiş +4°C'ye soğutulmuş ve olgunlaştırılmış hindi göğüs eti kullanılmıştır. Farklı marinasyon formülasyonları için Tablo 1'de gösterilen bileşenler kullanılarak aynı gün içinde marinasyonları yapılmıştır. Marinasyon formülasyonları ön pişirme denemeleri ve bu denemelerde eğitimli 3 panelist (2 erkek 1 bayan, 31-37 yaş) tarafından gerçekleştirilen duyu tadımlar ile oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan zeytinyağı (Yudum, Egemden Sızma, Yudum Gıda San.ve Tic. Aş. Balıkesir), yoğurt (tam yağlı kaymaksız, Süttaş Süt Ürünleri Aş., Bursa) ve elma sirkesi (Doğal Fermente, Kühne Fermentasyon ve Gıda San ve Tic. Aş., İzmir) Uşak'da faaliyet gösteren yerel bir gıda satış firmasından, marinasyondaki baharatlar ise Köşe Çerez&Baharatçım (İzmir) firmasından sipariş verilerek satın alınmıştır.

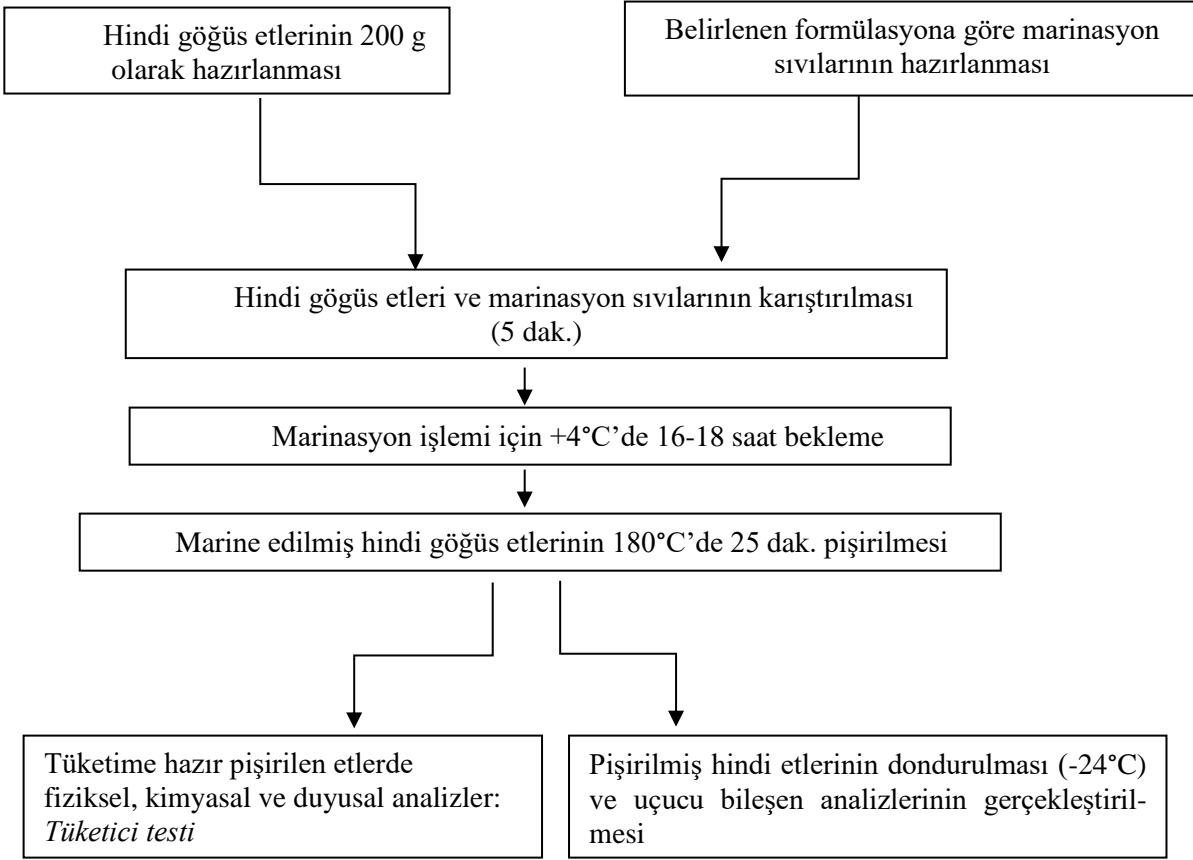
Tablo 1
Marinasyon formülasyonları

MARİNASYON SIVISI			
Marinasyon sıvısı (100 g)	ZEYTİNYAĞI	YOĞURT	ELMA SİRKESİ
	Formülasyon 1	Formülasyon 2	Formülasyon 3
	Tuz (%3)	Tuz (%3)	Tuz (%3)
	Şeker (%1.5)	Şeker (%1.5)	Şeker (%1.5)
	Acı kırmızı toz biber (%8)	Acı kırmızı toz biber (%4)	Acı kırmızı toz biber (%8)
Toz bileşenler (Acılı) (10g)	Soğan tozu (%2)	Soğan tozu (%2)	Soğan tozu (%2)
	Sarımsak tozu (%0.5)	Sarımsak tozu (%0.5)	Sarımsak tozu (%0.5)
	Kimyon (%1.5)	Kimyon (%1.5)	Kimyon (%1.5)
	Kişniş (%1)	Kişniş (%1)	Kişniş (%1)
	Kekik (%3)	Kekik (%3)	Kekik (%3)
	Biberiye (%1)	Biberiye (%1)	Biberiye (%1)
	Formülasyon 4	Formülasyon 5	Formülasyon 6
	Tuz (%3)	Tuz (%3)	Tuz (%3)
	Şeker (%2)	Şeker (%2)	Şeker (%2)
	Limon kabuğu (1.5)	Limon kabuğu (1.5)	Limon kabuğu (1.5)
Toz bileşenler (Acısız) (10g)	Mısır nişastası (%1.5)	Mısır nişastası (%2)	Mısır nişastası (%2)
	Kekik (%3)	Kekik (%3)	Kekik (%3)
	Biberiye (%1)	Biberiye (%1)	Biberiye (%1)
	Defne yaprağı (%2)	Defne yaprağı (%2.5)	Defne yaprağı (%2.5)
	Zencefil (%1)	Zencefil (%1)	Zencefil (%1)
	Tarçın (%0.5)	Tarçın (%0.5)	Tarçın (%0.5)

2.2.Yöntem

2.2.1. Hindi Etinin Hazırlanması ve Marinasyonu

Çalışmada hindi göğüs etleri üretici firmadan temin edilerek (Bu amaç için çoğunlukla sektördeki üreticiler beyaz hindi ırkını kullanmaktadır) bölüm laboratuvarlarına getirilmiştir. Daha, sonra her bir göğüs eti 200 g olacak şekilde ve marinasyon soslarının daha iyi şekilde nüfuz etmesi için hindi göğüs etlerinin üzerine küçük çizikler atılarak hazırlanmıştır. Marinasyonun hemen öncesi her bir marinasyon kabına 5 adet göğüs eti konularak +4°C'de bekletilmiş ve Tablo 1'e göre hazırlanan marinasyon sıvıları hindi göğüs etlerinin bulunduğu kaba aktarılmıştır. Hindi göğüs etlerinin 5 dakika boyunca iyi bir karışımı sağlandıktan sonra 16-18 saat süresince marinasyonun gerçekleşmesi için +4°C'de buzdolabında bekletilmiştir (bkz. Şekil 1).



Şekil 1. Hindi göğüs etinde marinasyon, pişirme ve analiz aşamaları

2.2.2. Hindi Etlerinin Pişirilmesi

Marine edilmiş hindi göğüs etlerinin pişirme işlemi konveksiyonel turbo fırında (Regal, Türkiye) gerçekleştirilmiştir. Turbo fırın önceden 180°C'ye getirilerek 10 dakika boyunca ısıtılmıştır. Pişirme işlemi; 25 dakika ve fırın sıcaklığı 180°C olacak bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Hindi etlerinin iç yumuşaklığını sağlamak için turbo fırının içinde 100 g bir tepside su bulundurularak suyun buharlaşması gerçekleştirilmiştir. Bu işlemle beraber termokupl kullanılarak hindi etlerinin pişirilmesi esnasında örneklerin iç sıcaklığı ölçülmüştür. Fırın içerisindeki hindi etlerinin iç sıcaklıkları 80-85 °C olacak şekilde pişirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Genel Kompozisyon Analizleri

Marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs eti örneklerinde kuru madde, protein ve yağ miktarı AOAC (2000)'de önerilen yöntemlere göre belirlenmiştir. Bu çerçevede, kuru madde gravimetrik olarak; protein miktarı ise Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir. Hindi göğüs eti örneklerinin toplam kül içeriğinin belirlenmesinde [Kayardı vd. \(2015\)](#)'de belirtilen metot kullanılmıştır.

2.2.4. Asitlik Tayini

Marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs eti örneklerinde asitlik miktarının belirlenmesi için yaklaşık 5 g örnek stomacher poşetlerine tartılmış ve poşet içerisine 50 mL distile su ilave edilmiştir. Poşet içeriği stomacherda homojen hale getirilmiştir. Homojen haldeki çözeltiden 20'er mL alınarak erlene aktarılmış ve üzerine fenolfitaleyn indikatöründen 3-4 damla damlatılmıştır. 0.1 N NaOH çözeltisiyle titre edilmiştir. Aynı örnekten iki paralel olacak şekilde asitlik tayini gerçekleştirilmiştir ([AOAC, 2000](#)).

2.2.5. Renk Tayini

Örneklerin renk değerleri marinasyon sonrası pişmiş hindi etlerine iç ve dış tarafı olmak üzere Minolta CR-400 (Tokyo, Japonya) renk cihazı ile L^* , Hue ve $Chroma$ renk değerleri [ISO-CIE standard \(2008\)](#)'in belirttiği şekilde ölçülmüştür. Renk ölçümleri, illuminasyon C ve 2° standart gözlem açısı koşullarında ve aynı örnekten üç paralel olacak gerçekleştirilmiştir.

2.2.6. Tekstürel Analiz

Marinasyon sonrası pişirilen hindi etlerinde doku profil analizi için 4x4 cm ebatlarında ve 1 cm kalınlığında parçalar kesilmiştir. Bu parçalar Brookfield CT3 4500 cihazı (Illinois, ABD) ile tekstür profil analizi yapılmıştır. Hindi göğüs eti örneklerinde sertlik, çiğnenebilirlik, esneme, yaylanma, iç yapışkanlık, dış yapışkanlık, kırılabilirlik ve sakızimsılık gibi tekstürel özellikler belirlenmiştir. Aynı örnekten üç paralel olacak şekilde analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz koşulları belirtildiği şekildedir; Analiz çeşidi: Tekstür Profil analizi TPA, Hedef baskı-deformasyon: %25, Trigger load: 0.44N, Test hızı: 1mm/s, Test probu: TA4/1000.

2.2.7. Marinat Absorbsiyonu

Hindi göğüs etlerinde marinat absorpsiyonu [Ergezer \(2005\)](#)'e göre belirlenmiştir. Marinat absorpsiyonu ağırlık esasına göre gerçekleştirilen bir analiz olup hindi eti örneklerinin marinasyon öncesi ve sonrası ağırlıklarının ölçülmesiyle aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Marinat absorpsiyonu} = \frac{w_{tm} - w_{ti}}{w_{ti}} \times 100 \quad (2.1)$$

Burada; w_{tm} : marinasyon sonrası ağırlık (g) w_{ti} : marinasyon öncesi ağırlık (g) ifade etmektedir.

2.2.8. Uçucu Bileşen Analizi

Marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etlerinde uçucu bileşenler katı faz mikroekstraksiyon tekniği (SPME) kullanılarak ekstrakte edilmiştir ([Pawliszyn, 2012](#)). Uçucu bileşenlerin belirlenmesi Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) (GC 6890, MS 6890N, Agilent Technologies, Wilmington, DE, ABD) gerçekleştirilmiştir. GC-MS'de uçucu bileşenlerin ayrımı polar olmayan HP-5MS kolonu (30 m x 0.250 mm id x 0.25 µm film kalınlığı) ile gerçekleştirilmiştir (J&W Scientific, Folsom, CA, ABD). Analizler için blendırda homojen hale getirilmiş 5 g pişmiş hindi eti örneği, 40 mL'lik SPME vialine (Supelco Bellafonte, ABD) tartılarak içerisine 1 g sodyum klorür (NaCl) ve 10 µL iç standart (0.1 µL/1mL 2-metil valerik asit ve 0.6 µL/1mL 2-metil-3-heptanon içermektedir) ilave edilmiştir. Daha sonra, vial 40°C'lik su banyosunda (GFL, Model 1103, Burgwedel, Almanya) 50 dakika bekletilerek uçucu bileşenlerin tepe boşluğunda dengeye gelmesi sağlanmıştır. Süre sonunda, SPME fibri (2 cm-50/30 µm DVB/Carboxen/PDMS stable flex, Supelco, Bellafonte, ABD) vial batırılarak 50°C'lik su banyosunda 50 dakika daha bekletilmiş ve hızlıca GC-MS'e enjekte edilmiştir. GC-MS koşulları; taşıyıcı gaz akışı 1.2 mL/dak, fırın programı başlangıç sıcaklığı 40°C'de 5 dakika, sıcaklık artışı 230°C'ye kadar 10°C/dak. Son sıcaklık ve süre 230°C'de 20 dakika şeklindedir ([Uyarcan, 2018](#)). Uçucu bileşenlerin tanımlanmasında National Institute of Standards and Technology (NIST) ve Wiley Registry of Mass Spectral Data ([Mclafferty, 2005](#)) kütüphanelerinden yararlanılmıştır. Uçucu bileşenlerin miktarları oransal bolluklarına göre µg/100 g olarak hesaplanmıştır ([Avsar vd., 2004](#)).

2.2.9. Duyusal Analizler

Marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs eti örneklerinin görünüş, doku/tekstür ve lezzet özellikleri açısından değerlendirilmesi amacıyla 67 panelist ile tüketici testi gerçekleştirilmiştir. Tüketici testine katılan panelistler Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde eğitim gören ve acı tadı deneyebilen öğrencilerden oluşmaktadır (yaş ortalaması 20-23). Panel değerlendirmesine aynı gün içerisinde acılı ve acısız grup olmak üzere iki ayrı

oturumunda yapılmıştır. Her panelde panelistlere 3 ayrı formülasyon ile marine edilmiş hindi örnekleri sunulmuştur. Hindi örnekleri rastgele 3 rakamla kodlanmış beyaz plastik tabak içerisinde yeme sıcaklığında ve yaklaşık 10 g olarak (55-65 °C) sunulmuştur. Panelistlerden, pişmiş hindi göğüs eti örneklerinin görünüş, doku/tekstür ve lezzet özelliklerini 9 puanlı hedonik skala ile değerlendirmeleri istenmiştir (Meilgaard vd., 1999) (bkz. Şekil 2). Tadım sırasında panelistlerin ağzında oluşan tatları nötrlemek için su kullanılmıştır.

MARİNE HİNDİ GÖĞÜS ETİ-TÜKETİCİ TESTİ											
1) Size verilen hindi eti örneklerini aşağıda verilen sıraya göre görünüş , tekstür ve lezzet (tat-koku) yönünden değerlendiriniz											
2) Ürünlerin sizde bıraktığı etkiye göre, aşağıdaki skalayı kullanarak 1 ile 9 arasında bir numarayı daire içerisine alınız.											
3) Ürünleri genel beğeni sırasına koyunuz. (En çok beğenilen=1, En az beğenilen= 5)											
Yaş: _____ Cinsiyet: _____											
Ürün Kodu: 489											
		Hiç beğenmedim				Ne beğendim			Çok fazla beğendim		Beğeni Sırası
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Görünüş		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tekstür		1	2	3	4	5	6	7	8	9	<input type="text"/>
Tat-Koku		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ürün Kodu: 755											
		Hiç beğenmedim				Ne beğendim			Çok fazla beğendim		Beğeni Sırası
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Görünüş		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tekstür		1	2	3	4	5	6	7	8	9	<input type="text"/>
Tat-Koku		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ürün Kodu: 512											
		Hiç beğenmedim				Ne beğendim			Çok fazla beğendim		Beğeni Sırası
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Görünüş		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tekstür		1	2	3	4	5	6	7	8	9	<input type="text"/>
Tat-Koku		1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Şekil 2. Marine hindi göğüs eti tüketici testi formu

2.2.10. İstatistiksel Analizler

Marinasyon formülasyonlarının hindi göğüs etlerinin fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerine üzerine etkilerinin belirlenmesi tek yönlü Varyans Analizi (One Way ANOVA) ile gerçekleştirilmiştir. Örnekler arasındaki ortaya çıkan önemli farklılıkların tespiti Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi (TUKEY HSD testi) ile değerlendirilmiştir (Sheskin, 2004). Söz konusu istatistiklerin yapılmasında Minitab istatistiksel paket programından yararlanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Genel Kompozisyon ve Asitlik Değerleri

Farklı marinasyon formülasyonları ile marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etlerinin bazı kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Yapılan varyans analizi sonucunda, incelenen tüm kimyasal özellikler bakımından hindi göğüs eti örnekleri arasında önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Beklenildiği üzere, elma sirkesi ile marine edilmiş örneklerin en yüksek asitlik değerine, zeytinyağı ile marine edilmiş örneklerin ise en yüksek yağ içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir. Diğer taraftan, özellikle zeytinyağının marinasyon sıvısı olarak kullanıldığı grupta acısız formülasyon ile hazırlanmış örneklerin acılı formülasyon ile hazırlanmış örneklerden daha fazla yağ içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun acısız formülasyonda bulunan mısır nişastasının marinasyon sıvısının viskozitesini arttırarak etin yağ absorpsiyonunu engellenmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Chen ve Chen, 2003). Diğer taraftan, kanatlı etlerin marinasyonunda %100’e yakın amilopektin içeriğine sahip mısır nişastasının kullanılması ile marinasyon sıvısındaki baharatların ürünü daha iyi kapladığı, ürünün su tutma kapasitesi ve pişme veriminin arttığı belirtilmiştir (Kaewthong ve Wattanachant, 2019).

Et örneklerinin kuru madde ve protein miktarları sırasıyla %44.56-51.47 ve %35.87-40.64 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek kuru madde miktarı acılı formülasyona sahip zeytinyağı ile marine edilmiş hindi eti örneklerinde, en düşük kuru madde miktarı ise acısız formülasyona sahip elma sirkesi ile marine edilmiş örneklerde tespit edilmiştir. Söz konusu durumun acısız formülasyona sahip elma sirkesi ile marine

edilmiş örneklerin daha fazla marinyasyon sıvısının absorbe etmesinden (bkz. Tablo 5) ve zeytinyağının marinyasyon sıvısındaki baharatları etin yüzeyine daha homojen bir şekilde kaplamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Acısız marinyasyon grubunda olan hindi eti örneklerinin aralarında protein miktarı bakımından önemli fark bulunmazken, acılı marinyasyon grubunda zeytinyağı ve elma sirkesi ile marine edilmiş örneklerin protein miktarının zeytinyağı marine edilmiş örneklerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($P>0.05$). Örneklerin kül miktarları incelendiğinde ise hem acılı hem de acısız marinyasyon grubunda olan örneklerin ayrı ayrı kül miktarlarında önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir ($P>0.05$). Örneklerin kül miktarları %2.36-3.10 arasında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2

Marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etlerini bazı kimyasal özellikleri

Marinyasyon Formülasyonu	Kimyasal Özellikler (Ortalama±SH)					
	Asitlik (%)	Kuru madde (%)	Kül (%)	Yağ (%)	Protein (%)	
Acılı	F1	1.42±0.01 ^B	51.47±0.19 ^A	3.10±0.02 ^A	8.04±0.07 ^A	36.70±1.48 ^B
	F2	1.51±0.06 ^{AB}	45.80±0.08 ^C	2.64±0.05 ^{AB}	3.32±3.32 ^C	39.14±0.07 ^{AB}
	F3	1.63±0.01 ^A	49.40±0.01 ^B	2.79±0.10 ^{AB}	2.84±2.84 ^{CD}	40.64±0.25 ^A
Acısız	F4	1.47±0.02 ^{AB}	48.92±0.22 ^B	2.34±0.06 ^B	6.06±0.13 ^B	35.87±0.09 ^B
	F5	1.55±0.02 ^{AB}	45.70±0.06 ^C	2.54±0.22 ^{AB}	3.04±0.17 ^C	37.12±0.20 ^B
	F6	1.59±0.01 ^A	44.56±0.17 ^D	2.36±0.01 ^B	2.02±0.27 ^D	38.35±0.11 ^{AB}
<i>P değeri</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	

^{A-C}Aynı kimyasal özellikte farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($P\leq 0.05$). S.H: standart hata, F1: zeytinyağı-acılı marinyasyon sıvısı, F2: yoğurt-acılı marinyasyon sıvısı, F3: elma sirkesi-acılı marinyasyon sıvısı, F4: zeytinyağı-acısız marinyasyon sıvısı, F5: yoğurt-acısız marinyasyon sıvısı, F6: elma sirkesi-acısız marinyasyon sıvısı.

Barbanti ve Pasquini (2005) yaptıkları bir çalışmada, endüstriyel olarak marine edilmiş (marinyasyon bileşimi: %3 NaCl, %9.5 dekstroz, laktoz ve sakkaroz şeker karışımı, %4 buğday unu ve %3.5 süt proteini) göğüs etlerinin 170°C’de 12 dakika pişirilmesi ile kuru madde, protein, yağ ve kül miktarlarını sırasıyla % 56.07, % 50.41, % 1.08 ve % 4.59 olarak belirlemişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada (Qiao vd., 2002), L^* renk değerine göre açık ($L^*>53$), koyu ($L^*<46$) ve normal ($48>L^*>51$) olarak sınıflandırılmış broiler göğüs etlerinin pişirilmelerinden sonra ölçülen kuru madde miktarları sırasıyla %29.22, %29.98 ve %29.39 olarak belirlenmiştir. Kırkpınar vd. (2014) sarımsak ve kekik esansiyel yağları ile beslenen tavuklardan elde edilen göğüs etlerinin kalitesini inceledikleri çalışmalarında, her iki esansiyel yağ ile beslenen tavukların göğüs etlerinin kuru madde ve kül miktarları arasında önemli farklılıkların olmadığı ve çığ tavuk etlerinin ortalama kuru madde ve kül miktarlarının sırasıyla %28.22 ve %1.21 olduğu belirlenmiştir. Pizato vd. (2015) endüstriyel olarak işlenmiş ve pişirilen tavuk göğüs etlerinin protein miktarını % 29.49, kuru madde miktarını % 31.60 ve kül miktarını % 1.27 olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, çalışmada hindi etlerinin kimyasal bileşimi hakkında elde edilen bulguların literatür bulguları ile karşılaştırıldığında birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

3.2. Renk Değerleri

Hindi göğüs eti örneklerinin içi ve dış bölge renk değerlerindeki değişimler Tablo 3’de sunulmuştur. İç bölge renk özellikleri incelendiğinde, tüm hindi eti örneklerinin *Hue* renk değerlerinde önemli bir farklılığın olmadığı ($P>0.05$), *Chroma* değeri açısından ise acılı formülasyona sahip zeytinyağı ile marine edilmiş örnekler ile acısız formülasyona sahip sirke ile marine edilmiş örnekler arasında önemli bir farklılığın olduğu belirlenmiştir ($P<0.05$). Buna göre, acılı formülasyona sahip zeytinyağı ile marine edilmiş örnekler daha yüksek *Chroma* değerine (21.16) sahiptir. Dış bölge renk özellikleri incelendiğinde, *Hue* ve *Chroma* renkleri açısından acılı ve acısız formülasyon gruplarındaki örneklerin kendi aralarında önemli bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, marinyasyon sıvısından bağımsız olarak acılı formülasyona sahip örneklerinin *Hue* renk değerlerinin acısız formülasyona sahip örneklerinden daha yüksek olduğu söylenebilir. Hindi eti örnekleri

ayrı ayrı ele alındığında ise en yüksek *Hue* ve *Chroma* renk değerine sahip örneklerin sırasıyla acısız formülasyona sahip zeytinyağı ile marine edilmiş örnekler ve acısız formülasyona sahip sirke ile marine edilmiş örnekler olduğu belirlenmiştir (bkz. Tablo 3).

Hindi eti örneklerinin L^* renk değerleri incelendiğinde ise, marinasyon sıvısından bağımsız olarak acılı formülasyona sahip örneklerin hem iç bölge hem de dış bölge L^* renk değerlerinin acısız formülasyona sahip örneklerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buna göre, iç ve dış bölgede en düşük L^* renk değeri zeytinyağı ile marine edilmiş örneklerde belirlenmiştir (bkz. Tablo 3).

Hindi eti örneklerin iç bölge ve dış renk değerleri arasındaki farklılıklar marinasyonda kullanılan baharat çeşitlerinin ve marinasyon sıvılarının farklı olmasına bağlanabilir. Acısız formülasyona sahip zeytinyağı ve sirke ile ayrı marine edilmiş örneklerin daha yüksek *Hue* ve *Chroma* değerlerine sahip olması zeytinyağı içerisinde bulunan doğal renk maddeleri ve elma sirkesinde içeriğinde bulunan organik asitlerden kaynaklanabilir. Nitekim, yapılan bir çalışmada (Ünal vd., 2020) 0.1 M asetik asit içeren marinasyon sıvısında marine edilmiş tavuk göğüs eti örneklerinin %100 su ile marine edilmiş örneklere göre daha düşük L^* ve daha yüksek b^* renk değerlerine sahip olduğunu belirlenmiştir. Diğer taraftan, özellikle acılı formülasyona sahip örneklerin hem içi hem dış bölge L^* renk değerlerinin daha düşük olması formülasyonda kullanılan kırmızı biber tozundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada (Jokanović vd., 2011), kırmızı biber tozu ve oleoresini ile marine edilmiş tavuk eti filetolarının L^* renk değerlerinin marine edilmemiş tavuk filetolarının L^* renk değerlerinden daha düşük olduğu belirtilmiştir. Yusop vd. (2012) farklı oranlarda nanopartikül kırmızı biber oleoresini içeren marinasyon formülasyonları ile marine ettikleri tavuk etlerinin bazı fizikokimyasal ve duyuşal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, marinasyon sıvısında bulunan kırmızı biber oleoresin miktarının hindi eti örneklerinin L^* , a^* ve b^* renk değerlerini etkilediği belirlenmiştir. Buna göre; marinasyon sıvısında 3g/100 mL düzeyinde oleoresin kullanımının 1g/100 mL düzeyinde kullanımına kıyasla hindi eti örneklerinde daha düşük L^* renk değeri ve daha yüksek a^* ve b^* renk değerleri meydana getirdiği belirlenmiştir. Literatürde, farklı marinasyon formülasyonları ile marine edilmiş kanatlı etlerinin renk değerlerine ait bulgular kullanılan marinasyon sıvısı, baharat karışımı, marinasyon süresi ve marinasyon yöntemine bağlı olarak çok fazla çeşitlilik göstermektedir. Augustyńska-Prejsnar vd. (2019) yaptıkları bir çalışmada peynir altı suyu ile marine ettikleri tavuk göğüs etlerinin L^* , a^* ve b^* renk değerlerini sırasıyla 84.11, 1.98 ve 12.79 olarak belirlerken, limon suyu ile marine edilmiş tavuk göğüs etlerinin L^* , a^* ve b^* değerlerini ise sırasıyla 84.29, 2.13 ve 10.46 olarak tespit etmişlerdir. Kadioğlu vd. (2019) yaptıkları bir çalışmada ise ananas suyu ile 160 dakika boyunca marine edilmiş tavuk göğüs etlerinin özelliklerini incelenmişlerdir. Çalışma sonucunda; marinasyon işlemi ile pişmiş tavuk göğüs etlerinin a^* ve b^* renk değerlerinin önemli düzeyde düşürdüğü, L^* renk değerinin ise 80 dakika marinasyon süresince önemli düzeyde arttığı ve daha sonra önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, 120 dakika boyunca ananas suyu ile marine edilmiş ve pişirilmiş tavuk göğüs etlerinin L^* , a^* ve b^* renk değerlerini sırasıyla 59.23, 5.06 ve 17.28 olarak tespit etmişlerdir. Hindi göğüs etinin farklı konsantrasyonlarda sitrik asit solüsyonu, greyfurt ve su ile marine edildiği diğer bir çalışmada (Serdaroğlu vd., 2007), greyfurt suyu ile marine edilmiş ve daha sonra pişirilmiş etlerin L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 78.5, 2.7 ve 14.9 olduğu, 0.2 M sitrik asit ile marine edilmiş ve pişirilmiş hindi etlerinin L^* , a^* ve b^* değerleri ise sırasıyla 77.3, 2.5 ve 14.2 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3

Marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etlerinin renk değerleri

Marinasyon Formülasyonu	Renk Değerleri (Ortalama±SH)						
	İç bölge	Dış bölge					
		L*	Chroma	Hue	L*	Chroma	Hue
Acılı	F1	58.04±4.24 ^C	21.16±1.70 ^A	73.11±2.50	45.21±3.45 ^B	20.37±1.27 ^{AB}	64.36±3.42 ^{AB}
	F2	65.79±0.25 ^{BC}	14.02±0.23 ^{AB}	75.56±0.55	47.94±2.01 ^B	19.78±0.57 ^{AB}	61.68±2.97 ^B
	F3	64.38±2.18 ^C	15.55±1.85 ^{AB}	73.16±2.06	46.02±2.53 ^B	16.72±0.72 ^B	61.46±2.63 ^B
Acısız	F4	75.29±0.93 ^A	13.82±1.10 ^{AB}	75.83±2.87	56.37±3.91 ^{AB}	25.0±2.60 ^A	75.22±4.25 ^{AB}
	F5	74.77±0.93 ^{AB}	12.92±0.26 ^{AB}	74.08±2.46	53.45±1.86 ^{AB}	20.34±2.51 ^{AB}	73.88±3.35 ^{AB}
	F6	74.83±0.67 ^{AB}	12.35±0.64 ^B	76.40±0.96	61.05±1.0 ^A	17.80±0.18 ^{AB}	77.66±0.67 ^A
<i>P değeri</i>		0.01	0.02	0.79	0.01	0.04	0.01

^{A-C} Aynı renk değerinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir (P<0.05). S.H: standart hata F1: zeytinyağı-acılı marinasyon sıvısı, F2: yoğurt-acılı marinasyon sıvısı, F3: elma sirkesi-acılı marinasyon sıvısı, F4: zeytinyağı-acısız marinasyon sıvısı, F5: yoğurt-acısız marinasyon sıvısı, F6: elma sirkesi-acısız marinasyon sıvısı.

3.3. Tekstürel Özellikler ve Marinasyon Absorbsiyonu

Farklı marinasyon formülasyonları ile marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etlerinin bazı tekstürel özellikleri Tablo 4’de verilmiştir. Yapılan varyans analizi sonucunda elastikiyet, yaylanma ve iç yapışkanlık tekstürel özellikleri hariç, örneklerin sertlik, sakızimsılık ve çignenebilirlik özellikleri açısından aralarında önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (P<0.05). Buna göre, en düşük sertlik değeri acılı formülasyona sahip zeytinyağı ile marine edilmiş örneklerde, en yüksek sertlik değeri ise acısız formülasyona sahip yoğurt ile marine edilmiş örneklerde ölçülmüştür. Söz konusu durumun, zeytinyağında ve yoğurtta bulunan bileşenlerinin hindi eti proteinlerinin jelleşmesi esnasındaki etkileşimlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Süt proteinlerinin et ve et ürünlerinde özellikle yağ bağlama, pişirme kaybı azaltma ve nem tutma özelliklerini geliştirdiği bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada (Barbut ve Choy, 2007), farklı süt proteinleri katılarak hazırlanmış tavuk eti köftelerinin pişme ve tekstürel özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, modifiye peynir altı suyu, kazeinat, tam yağlı ve yağsız süt tozu katılmış köftelerin kırılma, sertlik, yaylanma, iç yapışkanlık ve çignenebilirlik değerlerinin kontrol grubuna (herhangi bir protein eklenmemiş) göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çalışmada, araştırmacılar süt proteinlerinin kas liflerinin çevresinde ince protein matrisi oluşturarak etin tekstürel özelliklerine etki ettiğini belirtmişlerdir (Barbut ve Choy, 2007). Kruk vd. (2014), hem yüksek hidrostatik basınç (300MPa) uygulanmış hem de zeytinyağı ile marine edilmiş tavuk göğüs etlerinin sertlik ve sakızimsılık değerlerinin sadece yüksek basınç uygulanmış tavuk etlerine göre daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Sakızimsılık; yarı katı bir gıdayı yutmak için parçalanmasında harcanan enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu tekstürel özellik gıdanın sertlik ve iç yapışkanlık özellikleri ile ilişkilidir. Çignenebilirlik ise katı bir gıdanın yutulmadan önce çignenmesi için harcanan enerji ya da yutulması için gerekli olan çigneme sayısı olarak tanımlanmaktadır. Çignenebilirlik, gıdanın sertlik, iç yapışkanlık ve yaylanma özelliklerinin bir kombinasyonu şeklindedir. (Szczeniak, 2002). Genel olarak yoğurt ile marine edilmiş örneklerin sakızimsılık değerlerinin zeytinyağı ve elma sirkesi ile marine edilmiş örneklere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu durumun, daha önce de ifade edildiği gibi marinasyon ve pişirme esnasında süt proteinlerinin ve et proteinleri ile etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle, acısız marinasyon grubunda en düşük sakızimsılık değeri 22.70 g olarak zeytinyağı ile marine edilmiş örneklerde tespit edilmiştir (Tablo 4). Bu durumun, marinasyonda kullanılan zeytinyağının et miyofibrilleri arasına girip daha yumuşak bir doku sağlamasından kaynaklandığı söylenebilir (Barbut ve Choy, 2007). Örneklerin çignenebilirlik değerleri incelendiğinde acısız formülasyona sahip zeytinyağı ile marine edilmiş örnekler ile acısız formülasyona sahip elma sirkesi ile marine edilmiş örnekler arasında önemli bir farklılığın olduğu belirlenmiştir (P<0.05). Buna göre; acısız formülasyona sahip elma sirkesi ile marine edilmiş örneklerin çignenebilirlik değerleri daha yüksek bulunmuştur. Bu nedenle elma sirkesi ile marine edilmiş örneklerin yutulması için daha fazla çignenmesi gerekmektedir. Hindi eti örneklerinin elastikiyet, yaylanma ve iç

yapışkanlık değerlerinin ise sırasıyla 0.40-0.44, 2.08-2.29 mm ve 0.74-0.82 g.cm arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 4

Marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etlerinin tekstürel özellikleri

Marinasyon Formülasyonu	Tekstürel Özellikler (Ortalama±SH)						
	Sertlik (g)	Elastikiyet	Yaylanma (mm)	İç yapışkanlık (g.cm)	Sakızimsılık (g)	Çiğnenebilirlik (g.cm)	
Acılı marinasyon	F1	27.52±0.27 ^B	0.44±0.05	2.29±0.01	0.82±0.01	22.70±0.70 ^B	673.20±24.3 ^{AB}
	F2	44.69±2.48 ^{AB}	0.44±0.04	2.22±0.09	0.79±0.06	35.30±0.97 ^{AB}	800.10±54.4 ^{AB}
	F3	40.03±2.59 ^{AB}	0.41±0.01	2.20±0.01	0.77±0.01	32.62±0.01 ^{AB}	694.90±43.5 ^{AB}
Acısız marinasyon	F4	40.42±2.25 ^{AB}	0.42±0.01	2.08±0.05	0.74±0.04	21.91±0.01 ^B	518.70±33.90 ^B
	F5	47.41±2.08 ^A	0.41±0.01	2.24±0.08	0.76±0.03	36.30±3.38 ^A	834±109 ^{AB}
	F6	43.32±6.61 ^{AB}	0.40±0.01	2.25±0.04	0.75±0.02	32.44±4.02 ^A	940.70±85.80 ^A
<i>P değeri</i>	0.05	0.85	0.29	0.66	0.01	0.03	

^{A-C}Aynı tekstürel özellikte farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($P \leq 0.05$). S.H: standart hata. F1: zeytinyağı-acılı marinasyon sıvısı, F2: yoğurt-acılı marinasyon sıvısı, F3: elma sirkesi-acılı marinasyon sıvısı, F4: zeytinyağı-acısız marinasyon sıvısı, F5: yoğurt-acısız marinasyon sıvısı, F6: elma sirkesi-acısız marinasyon sıvısı.

Çalışmada marine edilmiş hindi etlerinin tekstürel özelliklerine ait elde edilen bulgular yapılan diğer çalışmalarda bulgularla benzerdir (Erge vd., 2018; Goli vd., 2014; Hashim vd.,1999; Önenç vd., 2004; Serdaroğlu vd., 2007). Goli vd. (2014) yaptıkları bir çalışmada, 0.25 M asetik asit-su ile 0.25 M asetik asit+su+0.25M NaCl solüsyonlarıyla 360 dakika marine ettikleri ve pişirdikleri hindi göğüs etlerinin sertlik değerlerini sırasıyla 18.4 N ve 77.04 N; elastikiyet özelliklerini ise yine sırasıyla 1403 g.mm ve 4355 g.mm olarak belirlemişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada (Serdaroğlu vd., 2007) greyfurt suyu ile marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etinin sertlik, çiğnenebilirlik ve yaylanma değerlerini sırasıyla 21.57 N, 2.3 kg ve 1.7 olarak belirlenmiştir. Hashim vd. (1999) tavuk göğüs etinin limonlu biberli marinasyon sıvısına daldırılma ile marine edilmesi veya marinasyon sıvısının doğrudan et içine enjekte edilmesi uygulamalarının tavuk etinin tekstürel özelliğine önemli derecede etkilediği belirlenmişlerdir. Buna göre; enjeksiyon yoluyla marine etme uygulamasının tavuk göğüs etinin daha kolay kesilmesini sağladığı, daldırma ve enjekte etme işlemleri sonucunda tavuk etini kesme kuvvetini sırasıyla 5.5 kg/g örnek ve 3.8 kg/g örnek olduğu belirlenmiştir.

Hindi etlerinin marinat absorpsiyonları incelendiğinde (bkz. Tablo 5) özellikle acılı-yoğurt marinasyonunda marinasyon absorpsiyonunun diğer marinasyon uygulamalarında daha yüksek olduğu ve bu marinasyon uygulamasını acısız yoğurt-marinasyon ve acılı-sirke marinasyon formülasyonlarının takip ettiği görülmüştür. Çalışmada, marinasyon absorpsiyonu için bulunan bulgular yapılan diğer çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Ergezer, 2005; Malgorzata Ormian vd., 2019; Serdaroğlu vd., 2007).

Tablo 5

Marine edilen hindi göğüs etlerinin pişme özellikleri

Formülasyonlar	Marinat Absorpsiyonu (%) (Ortalama±SH)	
Acılı marinasyon	F1	13.70±0.01 ^{DE}
	F2	21.36±0.01 ^A
	F3	16.87±0.01 ^{BC}
Acısız marinasyon	F4	13.12±0.02 ^E
	F5	19.16±0.01 ^{AB}
	F6	14.09±0.01 ^{CD}
<i>P değeri</i>	0.01	

^{A-C}Aynı pişme özelliklerinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($P \leq 0.05$). S.H: standart hata, F1: zeytinyağı-acılı marinasyon sıvısı, F2: yoğurt-acılı marinasyon sıvısı, F3: elma sirkesi-acılı marinasyon sıvısı, F4: zeytinyağı-acısız marinasyon sıvısı, F5: yoğurt-acısız marinasyon sıvısı, F6: elma sirkesi-acısız marinasyon sıvısı.

3.4. Pişirilmiş Hindi Göğüs Etlerinin Uçucu Profili

Marine edilerek pişirilmiş hindi etlerinde toplam 34 adet uçucu bileşen belirlenmiştir (bkz. Tablo 6). Hindi etlerinde belirlenen uçucu bileşenler çoğunlukla marinasyonda kullanılan baharatlardan gelen terpen türevli bileşiklerdir.

Acılı ve acısız marinasyon gruplarında uçucu bileşen profili açısından farklılıklar olduğu görülmüştür. Ksilen (plastik), stiren (balzematik), linalool (çiçek), okaliptol (mentol), borneol (kafur), timol (kekik), karvon (nane) ve terpineol asetat (bergamot) uçucularının acılı marinasyon grubunda; d-limonen (sitrus), terpinolen (çam), β -pinen (reçine), β -fillandren (terpentim) ve γ -terpinen (odun-talaş) uçucularının ise acısız marinasyon grubunda daha yüksek miktarda olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, bazı uçucu bileşenlerin ise farklı hindi eti gruplarında tespit edilmemiştir. Buna göre; β -osimene (bitkisel, çiçek) ve zingiberen (baharat) sadece acılı marinasyon grubunda belirlenmiştir. Bununla beraber, gül aroması veren fenil etil alkol de marinasyon sıvısı olarak zeytinyağı kullanılan acılı ve acısız gruplarda ve acısız formülasyona sahip yoğurt ile marine edilmiş örneklerde tespit edilmemiştir. Marine edilmiş hindi etlerinde miktarları yüksek olan uçucu bileşenler *p*-ksilen, d-limonen, okaliptol ve γ -terpinen olup diğer uçucu bileşenlerin miktarları düşüktür. *p*-ksilen, d-limonen, okaliptol ve γ -terpinen miktarları sırasıyla 69.81-118.92 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 4.74-330.11 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 3.68-112.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ve 7.45-52.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişmektedir.

Marine edilerek pişirilmiş hindi etlerinin uçucu bileşenlerine ait elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, tüm örneklerde belirlenen uçucu bileşenlerin marinasyonda kullanılan baharatlardan kaynaklandığı görülmektedir. Nitekim, yüksek miktarda belirlenen terpenik karakterdeki uçucu bileşenlerin birçoğu marinasyon sıvılarına ilave edilen kimyon, karabiber, kişniş, kekik, kırmızı pul biber için temel uçucu bileşenler olarak belirlenmiştir (Jagella vd., 1999; Kıralan, 2012; Msaada vd., 2007; Yousif vd., 2000). Örneğin; timol, α -terpineol ve linalool özellikle kekik bitkisinin başlıca uçucu bileşenleri iken γ -terpinen kimyon tohumlarında yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Kıralan, 2012; Lee vd., 2005).

Tablo 6

Marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etlerinin uçucu bileşen profili

No	Uçucu Bileşen	Aroma Kalitesi	Marinasyon Formülasyonları ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (Ortalama \pm S.D)					
			F1	F2	F3	F4	F5	F6
1	hekzanal	Çimen, ot	2.42 \pm 0.73	2.56 \pm 0.01	0.78 \pm 0.23	2.05 \pm 0.31	0.86 \pm 0.28	2.22 \pm 0.19
2	<i>p</i> -ksilen	Plastik, solvent	118.92 \pm 0.01	105.03 \pm 0.01	93.86 \pm 19.14	74.14 \pm 13.59	69.81 \pm 6.56	78.68 \pm 8.20
3	stiren	Balzematik, benzin	12.37 \pm 0.85	8.31 \pm 1.09	6.25 \pm 0.45	6.09 \pm 1.68	5.39 \pm 0.15	5.43 \pm 0.25
4	α -pinen	Çam, terpentim	7.70 \pm 0.10	13.03 \pm 0.01	25.68 \pm 5.76	5.82 \pm 1.52	21.18 \pm 3.31	21.54 \pm 9.03
5	kamfen	Kafur	7.70 \pm 0.01	4.94 \pm 0.01	16.99 \pm 2.10	ND	15.46 \pm 0.01	ND
8	β -pinen	Çam, reçine	4.23 \pm 0.47	4.97 \pm 1.26	4.29 \pm 0.70	ND	11.41 \pm 0.47	12.90 \pm 1.83
9	β -fillandren	Nane, terpentim	5.79 \pm 1.76	7.32 \pm 0.01	10.19 \pm 1.96	4.18 \pm 0.85	15.95 \pm 1.35	18.20 \pm 2.68
10	3-karen	Limon, resin	3.61 \pm 0.01	4.46 \pm 0.01	6.63 \pm 1.11	ND	6.09 \pm 0.84	2.58 \pm 0.09
11	simen	Solvent, limon	2.81 \pm 0.01	12.28 \pm 3.06	19.85 \pm 3.58	3.13 \pm 0.37	11.56 \pm 1.09	10.99 \pm 0.01
12	d-limonen	Sitrus, limon	4.74 \pm 0.01	5.97 \pm 0.01	8.71 \pm 0.01	122.32 \pm 29.83	296.09 \pm 22.71	330.11 \pm 33.61
13	okaliptol	Bitkisel, ilaç. Mentol	3.68 \pm 0.01	89.79 \pm 0.01	112.05 \pm 33.45	ND	50.84 \pm 0.57	56.31 \pm 4.34
14	γ -terpinen	Terpentim, talaş	7.45 \pm 1.76	10.54 \pm 1.12	17.36 \pm 3.90	10.98 \pm 2.74	50.50 \pm 4.52	52.20 \pm 6.68
15	terpinolen	Sitrus, çam. bitkisel	1.39 \pm 0.40	1.27 \pm 0.09	1.57 \pm 0.31	1.19 \pm 0.24	4.30 \pm 0.32	4.92 \pm 0.61
16	linalool	Çiçek, vaks	3.85 \pm 0.02	4.90 \pm 0.43	6.93 \pm 1.31	1.01 \pm 0.22	5.16 \pm 0.40	3.49 \pm 0.88
17	nonanal	Yağ, vaks	3.07 \pm 0.01	ND	ND	0.69 \pm 0.09	ND	0.83 \pm 0.01
18	fetil etil alkol	Gül, çiçek	ND	0.54 \pm 0.01	0.73 \pm 0.08	ND	ND	0.61 \pm 0.01
19	d-kamfor	Kafur, bitkisel	7.49 \pm 2.16	8.70 \pm 1.08	9.86 \pm 2.15	3.87 \pm 1.06	7.53 \pm 0.45	8.10 \pm 0.77
20	borneol	Kafur, bitkisel	2.31 \pm 0.63	1.91 \pm 0.16	2.29 \pm 0.37	1.05 \pm 0.26	1.71 \pm 0.07	1.86 \pm 0.15
21	4-terpineol	Baharat	1.14 \pm 0.27	1.07 \pm 0.09	1.47 \pm 0.26	0.55 \pm 0.11	1.07 \pm 0.02	1.21 \pm 0.07
22	α -terpineol	Sitrus, bitkisel	1.58 \pm 0.03	1.29 \pm 0.26	2.36 \pm 0.37	0.76 \pm 0.15	1.60 \pm 0.02	1.59 \pm 0.29
23	2-metil-3-fenil-propanal	-	1.28 \pm 0.53	0.35 \pm 0.01	0.88 \pm 0.12	0.12 \pm 0.01	0.22 \pm 0.01	0.21 \pm 0.01
24	karvon	Nane	0.92 \pm 0.01	0.52 \pm 0.01	0.85 \pm 0.16	0.21 \pm 0.01	0.35 \pm 0.02	0.51 \pm 0.15
25	β -osimene	Bitkisel, çiçek	0.64 \pm 0.01	0.76 \pm 0.01	1.38 \pm 0.08	ND	ND	ND
26	bornil asetat	Sedir odunu, baharat	0.95 \pm 0.26	1.17 \pm 0.02	1.25 \pm 0.18	0.47 \pm 0.07	1.04 \pm 0.05	1.40 \pm 0.15
27	timol	Bitkisel, kekik	3.52 \pm 0.34	3.38 \pm 0.18	5.48 \pm 0.93	1.73 \pm 0.38	2.63 \pm 0.02	2.79 \pm 0.22

29	terpineol acetate	Bergamot, çiçek	2.46±0.62	2.81±0.23	6.05±1.13	0.27±0.04	0.46±0.03	0.61±0.06
	α -kubebene	Bitkisel, vaks	1.40±0.37	1.92±0.10	5.09±0.96	0.20±0.02	0.22±0.01	0.23±0.02
30	karyofilen	Karanfil, bitkisel	1.45±0.33	1.39±0.20	2.02±0.44	0.48±0.09	0.75±0.04	0.81±0.06
31	α -humulen	Odun-talaş, okyanus suyu	0.42±0.10	0.19±0.01	0.66±0.23	0.18±0.01	0.24±0.03	0.18±0.08
32	α -kurkumen	Bitkisel	ND	0.34±0.32	1.05±0.56	0.30±0.07	0.20±0.04	ND
33	zingiberen	Baharat	ND	0.26±0.23	1.00±0.01	ND	ND	ND
34	d-kadinen	Odun-talaş, ilaç	1.41±0.01	0.70±0.10	0.92±0.61	0.77±0.01	ND	ND

ND: belirlenmedi, S.D: standart sapma. F1: zeytinyağı-acılı marinasyon sıvısı, F2: yoğurt-acılı marinasyon sıvısı, F3: elma sirkesi-acılı marinasyon sıvısı, F4: zeytinyağı-acısız marinasyon sıvısı, F5: yoğurt-acısız marinasyon sıvısı, F6: elma sirkesi-acısız marinasyon sıvısı

3.5. Duyusal Özellikler

Çalışmada, marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etleri görünüş, doku/tekstür lezzet ve beğeni derecesi açısından tüketici testine tabi tutulmuştur. Tüketici testlerine ait sonuçlar Tablo 7’de gösterilmiştir. Acılı ve acısız formülasyona sahip örneklerin tüm duyusal özelliklerinde önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). Buna göre, acısız formülasyona sahip sirke ile marine edilmiş örneklerin yoğurt ve zeytinyağı ile marine edilmiş örneklere göre görünüş ve doku özellikleri bakımından daha düşük duyusal puanlar aldığı belirlenmiştir. Lezzet açısından, zeytinyağı ile marine edilmiş örneklerin hem sirke hem de yoğurt ile marine edilmiş örneklerden daha yüksek duyusal puan aldığı ve en yüksek beğeni derecesine sahip bulunmuştur. Sirke ile marine edilmiş örneklerin ise en düşük beğeni derecesine ve lezzet puanlarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Acılı marinasyon gurubunda, en yüksek görünüş ve doku/tekstür puanına zeytinyağı ile marine edilmiş grup olduğu belirlenirken, sirke ve yoğurt ile marine edilmiş örneklerin görünüşleri ve doku/tekstür özellikleri açısından önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Zeytinyağı ve yoğurt ile marine edilmiş örneklerin arasında lezzet açısından önemli bir farklılığın olmadığı ve sirke ile marine edilmiş örneklerden daha yüksek duyusal puanlara sahip olduğu belirlenmiştir. Tüketicilerin acısız marinasyon gurubundaki örneklerin beğeni dereceleri zeytin yağı ile marine edilmiş> yoğurt ile marine edilmiş > sirke ile marine edilmiş olarak şeklinde sıralanmıştır.

Tüketici testinin sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, sirke ile marine edilmiş örnekler tüm duyusal özellikler bakımından düşük puanlar aldığı görülmektedir. Nitekim duyusal testler sırasında tüketicilerin baharat aromasını dikkate alınmaksızın sirke ile marine edilmiş hindi etlerinin diğer örneklere göre daha ekşi ve sert olduğunu ifade etmişlerdir. [Ergezer ve Gökçe \(2011\)](#) yaptıkları bir çalışmada, hindi göğüs etlerini laktik asit ve sodyumtrifosfat ile birlikte sodyum klorür kullanarak marine etmişlerdir. Çalışma sonucunda, hindi göğüs etlerinin duyusal sululuk (juiciness) ve yumuşaklık (tenderness) özelliklerinin marinasyondaki fosfat miktarının önemli derecede etkilemediği, buna karşın laktik asit kullanımının miktarının yumuşaklık özelliğini etkilediği bulunmuştur. Laktik asit miktarının artması ile etin sululuk miktarının arttığı belirlenmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada ([Yusop vd., 2009](#)), daha çok Çinli tüketiciler tarafından tercih edilen ve ticari olarak satılan farklı özelliklere sahip 18 adet marinasyon çeşni ile pişirilen tavuk but etlerinin duyusal özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, Çinli tüketicilerin soya, sirke, karanfil, tarçın, rezene, chili biber ve sarımsak içeren *Hoisin* sos ile marine edilmiş tavuk butlarını, Avrupa kökenli tüketicilerin ise tatlı ve ekşi tatların baskın olduğu soya, tatlandırıcı şeker, mısır nişastası, chili sarımsak, pirinç sirkesi ve kırmızı biber ve zencefil içeren *Szechuan* sos ile marine edilmiş tavuk etlerini daha çok beğendiklerini belirlemişlerdir. Zeytinyağı ve koruk suyu ile marine edilen tavuk göğüs etlerinin mikrobiyolojik ve duyusal özelliklerinin araştırıldığı diğer bir çalışmada ([Şengün vd., 2019](#)), %50 koruk suyu + %50 zeytinyağı ve %100 zeytinyağı ile 18 saat marine edilerek pişirilmiş tavuk göğüs etlerinin duyusal beğeni skorlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Koruk suyunun tavuk etinin marinasyonunda kullanım potansiyelinin bulunduğu belirtilmiştir.

Tablo 7

Marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etlerinin duyuusal özellikleri

Acılı Formülasyonlar	Duyusal özellikler			
	Görünüş	Doku/tekstür	Lezzet	Beğeni Derecesi
F1	6.20±0.28 ^A	6.62±0.20 ^A	6.57±0.23 ^A	1.62±0.09 ^B
F2	6.10±0.25 ^A	5.93±0.25 ^A	5.47±0.29 ^B	1.83±0.09 ^B
F3	4.89±0.32 ^B	4.11±0.26 ^B	3.79±0.31 ^C	2.54±0.09 ^A
<i>P değeri</i>	0.01	0.01	0.01	0.01
Acısız Formülasyonlar	Görünüş	Doku/tekstür	Lezzet	Beğeni Derecesi
F4	5.94±0.25 ^A	5.73±0.25 ^A	6.06±0.26 ^A	1.49±0.08 ^A
F5	5.0±0.28 ^B	4.91±0.26 ^{AB}	5.14±0.28 ^A	1.97±0.03 ^B
F6	4.88±0.25 ^B	4.80±0.27 ^B	3.85±0.29 ^B	2.53±0.07 ^C
<i>P değeri</i>	0.01	0.02	0.01	0.01

^{A-C} Aynı duyuusal özelliğe farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($P \leq 0.05$). S.H: standart hata, F1: zeytinyağı-acılı marinasyon sıvısı, F2: yoğurt-acılı marinasyon sıvısı, F3: elma sirkesi-acılı marinasyon sıvısı, F4: zeytinyağı-acısız marinasyon sıvısı, F5: yoğurt-acısız marinasyon sıvısı, F6: elma sirkesi-acısız marinasyon sıvısı.

4. Sonuçlar

Çalışmada, zeytinyağı, yoğurt ve sirke ile ayrı ayrı marine edilerek pişirilmiş hindi göğüs etlerinin, bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile uçucu profilleri ve tüketici beğenileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, farklı marinasyon formülasyonları ile marine edilerek pişirilen hindi göğüs, iç bölge *Hue* renk değeri hariç L^* ve *Chroma* değerlerinde, dış bölgede ise tüm renk değerlerinde önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Elastikiyet, yaylanma ve iç yapışkanlık özellikleri hariç, örneklerin sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik özellikleri açısından aralarında önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değeri acısız formülasyona sahip yoğurt ile marine edilen örneklerde belirlenirken, en düşük sertlik değerine acılı formülasyona sahip zeytinyağı ile marine edilen örneklerin sahip olduğu gözlenmiştir. Kimyasal özellikler bakımından hindi göğüs eti örnekleri arasında önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Beklenildiği üzere, en yüksek asitlik değeri elma sirkesi ile marine edilmiş örneklerde, en yüksek yağ değeri ise zeytinyağı ile marine edilmiş örneklerde. Hindi göğüs etlerinde toplam 34 adet uçucu bileşen belirlenmiştir. Acılı ve acısız marinasyon gruplarında uçucu bileşen profili açısından farklılıkların olduğu görülmüştür. Hindi göğüs etlerinde belirlenen uçucu bileşenler çoğunlukla marinasyonda kullanılan baharatlardan gelen γ -terpinen, β -pinen, terpinolen gibi terpen türevli bileşiklerdir. Tüketici testlerin sonuçlara göre, lezzet açısından, zeytinyağı ile marine edilmiş örneklerin hem sirke hem de yoğurt ile marine edilmiş örneklerden daha yüksek duyuusal puan aldığı ve en yüksek beğeni derecesine sahip bulunmuştur. Çalışmada, sirke gibi asit özelliğine sahip marinasyon sıvılarında asit ve baharat dengesinin iyi bir şekilde formülize edilmesinin elzem olduğu görülmüştür. Marinasyonda kullanılan baharatların farklı kombinasyonlarının kullanılması kanatlı göğüs eti gibi yağsız ve yavan olarak nitelendirilen etlerin lezzetlendirilmesi ve bu baharatların duyuusal açısından etkilerinin daha detaylı araştırılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK “2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı” tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmayı destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK)’na teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Sinem AKYÜZ: Çalışmanın planlı bir şekilde yürütülmesini, çalışmadaki analizlerin gerçekleştirilmesinde ve çalışmanın makale haline getirilmesine katkı sağlamıştır.

Onur GÜNEŞER: Çalışmanın planlanmasında ve çalışmada analizlerin yapılmasında görev yapmış olup çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesi ve çalışmanın makale haline getirilmesine katkı sağlamıştır

Büşra NUR ESEN: Çalışmanın planlı bir şekilde yürütülmesini, çalışmadaki analizlerin gerçekleştirilmesinde ve çalışmanın makale haline getirilmesinde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Augustyńska-Prejsnar, A., Ormian, M., Hanus, P., Kluz, M., Sokołowicz, Z. ve Rudy, M. (2019). Effects of marinating breast muscles of slaughter pheasants with acid whey, buttermilk, and lemon Juice on quality parameters and product safety. *Journal of Food Quality*, 2019, 5313496, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2019/5313496>
- Alvarado, C. ve Mckee, S. (2007). Marination to improve functional properties and safety of poultry meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 16, 113–120. <https://doi.org/10.1093/japr/16.1.113>
- AOAC (2000). Official Methods of Analysis of AOAC 17th ed. International. Gaithersburg, USA.
- Avsar, Y. K., Karagul-Yuceer, Y., Drake, M. A., Singh, T.K., Yoon, Y. ve Cadwallader, K. R. (2004). Characterization of nutty flavor in cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 87, 1999–2010. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70017-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70017-X)
- Barbanti, D. ve Pasquini, M. (2005). Influence of cooking conditions on cooking loss and tenderness of raw and marinated chicken breast meat. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 895–901. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.017>
- Barbut, S., ve Choy, V. (2007). Use of dairy proteins in lean poultry meat batters—a comparative study. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(4), 453-458. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01263.x>
- Baydar, H. (2016). *Baharatlar ve baharat Bitkileri/tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi teknolojisi*. Hilal Ofset Matbaacılık, Isparta, Türkiye.
- Bianchi, M., Petracci, M. ve Cavani, P. (2009). The use of marination to improve poultry meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 8(2), 757-759. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s2.757>
- Bor, Y. (2011). *Hindi etlerinin marinasyonunda bazı doğal antioksidan kaynaklarının kullanımı* (Yüksek Lisans tezi) Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Afyonkarahisar, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Chen, Y.C., Chen, T.C. (2003). Cooking yields and quality characteristics of grilled chicken breast fillets as affected by marinades containing starches. *Journal of Food Technology*, 1(1), 17-22. Erişim adresi: <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=jftech.2003.17.22>
- Deniz, E. E. (2009). *Kesim sonrasında farklı sürelerde enjekte edilen marinat çözeltilerinin et kalitesi üzerine etkileri* (Doktora tezi) Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Doğu, E. (2009). *Marine edilmiş pişirmeye hazır tavuk etlerinin modifiye atmosfer paketlenme ile mufazası* (Yüksek lisans tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Erge, A., Cin, K. ve Şeker, E. (2018). Erik ve elma suyunun tavuk eti marinasyonunda kullanılması. *Gıda*, 43(6), 1040-1052. <https://doi.org/10.15237/gida.GD18063>
- Ergezer, H. ve Gökçe, R. (2004). Kanatlı etlerinin marinasyon tekniği ile işlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 227-233. Erişim adresi: https://www.journalagent.com/pajes/pdfs/PAJES_10_2_227_233.pdf
- Ergezer, H. (2005). Değişik yöntemlerle marine edilmiş kanatlı etlerinin kimyasal, mikrobiyolojik, tekstürel ve duyu özellikleri (Yüksek lisans tezi) Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Ergezer, H. ve Gokce, R. (2011). Comparison of marinating with two different types of marinade on some quality and sensory characteristics of Turkey breast meat. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(1), 60-67. [10.3923/javaa.2011.60.67](https://doi.org/10.3923/javaa.2011.60.67)
- Gibson, M. (2018). *Food science and the culinary arts*, Academic Press, London, UK.
- Goli, T., Ricci, J., Bohuon, P., Marchesseau, S. ve Collignan, A. (2014). Influence of sodium chloride and pH during acidic marination on water retention and mechanical properties of turkey breast meat. *Meat science*, 96(3), 1133-1140. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.10.031>
- Hashim, I. B., McWatters, K. H. ve Hung, Y. C. (1999). Marination method and honey level affect physical and sensory characteristics of roasted chicken. *Journal of Food Science*, 64(1), 163-166. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb09883.x>
- ISO-CIE Standard (2008). Colorimetry, part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space, 11664-4.

- Jagella, T. ve Grosch, W. (1999). Flavour and off-flavour compounds of black and white pepper (*Piper nigrum* L.) I. Evaluation of potent odorants of black pepper by dilution and concentration techniques. *European Food Research Technology*, 209(1), 16-21. <https://doi.org/10.1007/s002170050449>
- Jokanović, M.R., Džinić, N.R., Tomović, V.M., Savatić, S.B., Tasić, T.A., Ikonić, P. M., ve Šojić, B.V. (2011). Effect of ground paprika and its oleoresin on marinated chicken breast meat quality. *Acta Periodica Technologica*, 42, 55-62. <https://doi.org/10.2298/APT1142055J>
- Kadioğlu, P., Karakaya, M., Unal, K. ve Babaoğlu, A.S. (2019). Technological and textural properties of spent chicken breast, drumstick and thigh meats as affected by marinating with pineapple fruit juice, *British Poultry Science*, 60(4), 381-387. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1621990>
- Kahraman, T., Bayraktaroğlu, G., A., Issa, G. ve Aksu, F. (2010). Bazı organik asitlerle yapılan marinasyon işleminin sığır et kalitesi üzerine etkisi. *İstanbul Veteriner Fakültesi Dergisi*, 36(2), 25-31. Erişim adresi: <https://actavet.org/en/effect-of-marination-with-some-organic-acids-on-the-quality-of-beef-meat-13211>
- Kayardı, S., Akkaya, M. ve Söbeli, C. (2015). *Et ve et ürünleri analizleri*. ISBN: 978-605-5267-28-5 Sidas Lt.Şti. İzmir.
- Kaewthong, P., Wattanachant, S. (2019). Effect of sugar and starch levels on electrical conductivity of marinated solutions in improving water-holding capacity of marinated broiler breast meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(1), 42-51. <https://doi.org/10.3382/japr/pfy014>
- Kıralan M. (2012). Volatile Compounds of black Cumin seeds (*Nigella sativa* L.) from microwave-heating and conventional roasting. *Journal of Food Science*, 77, C481-C484. [10.1111/j.1750-3841.2012.02638.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02638.x)
- Kırkpınar, F., Ünlü, H. B., Serdaroğlu, M. ve Turp, G. Y. (2014). Effects of dietary oregano and garlic essential oils on carcass characteristics, meat composition, colour, pH and sensory quality of broiler meat. *British Poultry Science*, 55(2), 157-166. <https://doi.org/10.1080/00071668.2013.879980>
- Kruk, Z.A., Kim, H.J., Kim, Y. J., Rutley, D.L., Jung, S., Lee, S. K., ve Jo, C. (2014). Combined effects of high pressure processing and addition of soy sauce and olive oil on safety and quality characteristics of chicken breast meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(2), 256. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13417>
- Lee, S.J., Umamo, K., Shibamoto, T. ve Lee, K.G. (2005). Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chemistry*, 91(1),131-137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.056>
- Małgorzata Ormian, A.A.P., Kluz, M., ve Sokołowicz, Z. (2019). Effect of using acid whey for marinating chicken breast muscles in organic production. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31(4), 281-287. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i4.1940>
- Mclafferty F.W. (2005). Wiley Registry of Mass Spectral Data 7th edition with NIST 2005 Spectral Data. ISBN-13: 978-0-471-47325-1.
- Meilgaard, M., Civille, G.V. ve Carr, B.T. (1999). *Sensory evaluation techniques*, CRC Press, Inc. Boca Raton, FL.
- Msaada K, Hosni K, Taarit MB, Chahed T, Kchouk ME, Marzouk B. (2007). Changes on essential oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits during three stages of maturity. *Food Chemistry*, 102(4), 1131-1134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.046>
- Önenç, A., Serdaroğlu, M. ve Abdraimov, K. (2004). Effect of various additives to marinating baths on some properties of cattle meat. *European Food Research Technology*, 218, 114-117. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0828-7>
- Pawliszyn, J. (2012). *Theory of solid phase microextraction*. In Pawliszyn J. (Ed.). *Handbook of solid phase microextraction*. Waltham, Elsevier Inc, MA, USA.
- Pizato, S., Cortez-Vega, W. R. ve Prentice, C. (2015). Quality assessment of cooked chicken breast meat at different storage temperatures. *International Food Research Journal*, 22(1), 143-154. Erişim adresi: [http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20\(01\)%202015/\(22\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20(01)%202015/(22).pdf)
- Post, R.C., ve Heath, J.L. (1983). Marinating broiler parts: the use of a viscous type marinade. *Poultry Science*. 62, 977-984. <https://doi.org/10.3382/ps.0620977>
- Qiao, M., Fletcher, D. L., Smith, D. P. ve Northcutt, J. K. (2002). Effects of raw broiler breast meat color variation on marination and cooked meat quality. *Poultry Science*, 81(2), 276-280. <https://doi.org/10.1093/ps/81.2.276>
- Sengun, I. Y., Goztepe, E., ve Ozturk, B. (2019). Efficiency of marination liquids prepared with koruk (*Vitis vinifera* L.) on safety and some quality attributes of poultry meat. *LWT-Food Science and Technology*, 113, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108317>

- Serdaroğlu, M., Abdraimov, K., ve Onenc, A. (2007). The effects of marinating with citric acid solutions and grapefruit juice on cooking and eating quality of turkey breast. *Journal of Muscle Foods*, 18(2), 162-172. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2007.00074.x>
- Sheskin, D.J. (2004). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures* (3rd ed). Chapman and Hall/CRC press, New York, USA, 1193 p.
- Smith, G.C, Carpenter, Z.L. (1976). Eating quality of meat animal products and their fat content. *Fat Content and Composition of Animal Products: Proceedings of a Symposium, Washington, D.C*, 147-182. Erişim adresi: <http://www.nap.edu/catalog/22.htm>
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215-225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Uyarcan, M. (2018). *Yüksek basınç ve biberiye ekstraktı uygulamasının taze kırmızı et kalitesine etkisi* (Doktora tezi). Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Ünal, K., Alagöz, E., Cabi, A., ve Sarıçoban, C. (2020). Determination of the effect of some acidic solutions on the tenderness and quality properties of chicken breast meat. *Selcuk Journal of Agriculture & Food Sciences/Selcuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 34(1), 19-23. [10.15316/SJAFS.2020.190](https://doi.org/10.15316/SJAFS.2020.190)
- Varlık, C., Gökoğlu, N., Gün, H. (1993). Marinat üretiminde sıcaklığın sirke/tuz geçişi üzerine etkisi. *Gıda* 18(4), 223-228. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/79230>
- Yousif, A., Durance, T., Scaman, C. ve Girard, B. (2000). Headspace volatiles and physical characteristics of vacuum-microwave, air, and freeze dried Oregano (*Lippia berlandieri* Schauer). *Journal of Food Science*, 65, 926-930. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb09394.x>
- Yusop, S. M., O'sullivan, M. G., Kerry, J. F. ve Kerry, J. P. (2009). Sensory evaluation of Chinese-style marinated chicken by Chinese and European naïve assessors. *Journal of Sensory Studies*, 24(4), 512-533. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2009.00224.x>
- Yusop, S.M, O'Sullivan,G.,M., Kerry, F.,J. ve Kerry, P.J. (2010). Effect of marinating time and low pH on marinade performance and sensory acceptability of poultry meat. *Meat Science*, 85, 657–663. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.03.020>
- Yusop, S. M., O'Sullivan, M.G., ve Kerry, J. P. (2011). *Marinating and enhancement of the nutritional content of processed meat products*. In Kerry, J.P., Kerry, J. F (Eds). *Processed meats Improving Safety, Nutrition and Quality*. Woodhead Publishing, Sawston, Cambridge, UK.
- Yusop, S.M., O'Sullivan, M.G., Preuß, M., Weber, H., Kerry, J. F., ve Kerry, J. P. (2012). Assessment of nanoparticle paprika oleoresin on marinating performance and sensory acceptance of poultry meat. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 349-355. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.08.014>



Origanum onites ve *Ocimum basilicum*'un *bla_{CTX-M}* Pozitif Enterobacteriaceae Üzerine Antimikrobiyal Etkisi

Seda Özdikmenli Tepeli^{1*}

¹Veterinerlik Bölümü, Yenice Meslek Yüksekokulu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 12.02.2020

Kabul: 10.08.2020

Yayın: 29.12.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Antibiyotikler hayvanlarda çeşitli enfeksiyon hastalıklarının tedavisinde de kullanılmaları yansira, patojen mikroorganizmaların neden olduğu mastitis tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Enterobacteriaceae familyasına ait *E.coli* ve *Klebsiella* gibi etmenler ile mücadelede yan etkilerinin az olması ve bakterisid olmaları nedeniyle beta-laktam antibiyotikler sıklıkla kullanılmaktadır. Antibiyotiklerin aşırı ve uygunsuz kullanımı, patojenlerin direnç geliştirmesine neden olmuştur. İnsan ve hayvanlarda Enterobacteriaceae üyelerinde en sık rastlanan direnç genişlemiş spektrumlu beta-laktamaz üretimidir. Mastitis tedavisinde antibiyotik kullanımını sınırlandırmak amacı ile araştırmacılar homeopati, kil tedavisi, fitoterapi, esansiyel yağlar, akupunktur, ozon ve oksijen tedavisi gibi alternatif tedavileri araştırmışlardır. Bu çalışmada *Origanum onites* ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağlarının antibiyotik dirençli *bla_{CTX-M}* geni içeren *Escherichia coli*, *Serratia liquefaciens*, *Citrobacter braakii* ve *Morganella morganii* üzerine antimikrobiyal etkisi incelenmiştir. *Origanum onites* ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağlarının %50 (v/v) konsantrasyonunun *bla_{CTX-M}* pozitif bakteriler üzerine en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir. *Origanum onites* esansiyel yağın MİK değerleri <0.48 µL/mL olarak tespit edilmişken, *Ocimum basilicum* esansiyel yağının MİK değerleri 31.25 ile <0.48 µL/mL arasında tespit edilmiştir. Esansiyel yağlar, özellikle organik üretim yapan tesislerde antibiyotik direncinin artmasını önlemek için alternatif bir tedavi yöntemi olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler – *Origanum onites*, *Ocimum basilicum*, esansiyel yağ, antibiyotik direnci, Enterobacteriaceae

Antimicrobial Effect of *Origanum onites* and *Ocimum basilicum* on *bla_{CTX-M}* Positive Enterobacteriaceae

¹Department of Veterinary, Yenice Vocational School, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 12.02.2020

Accepted: 10.08.2020

Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – Antibiotics are widely used for the treatment of mastitis caused by pathogenic microorganisms, although they are also used in the treatment of various infectious diseases in food animals. Beta-lactam antibiotics are commonly used for the treatment of disease caused by Enterobacteriaceae such as *E.coli* and *Klebsiella* because of they have few side effects and are bactericidal. The excess and unnecessary use of antibiotics causes the antibiotic resistance of pathogens. Extended spectrum beta-lactamases have been commonly found in Enterobacteriaceae isolated from humans and animals. In order to limit the use of antibiotics in the treatment of mastitis, researchers have investigated alternative treatments such as homeopathy, clay therapy, phytotherapy, essential oils, acupuncture, ozone, and oxygen therapy. In this study, the antimicrobial effect of *Origanum onites* and *Ocimum basilicum* essential oils on *bla_{CTX-M}* positive *E. coli*, *Serratia liquefaciens*, *Citrobacter braakii* and *Morganella morganii* bacteria were investigated. 50% (v/v) concentration of *Ocimum basilicum* and *Origanum onites* essential oils have shown the best antimicrobial effect on *bla_{CTX-M}* positive bacterias. While MIC values of *Origanum onites* essential oil have determined as <0.48 µL / mL, MIC values of *Ocimum basilicum* essential oil have determined between 31.25 and <0.48 µL / mL. Essential oils can be used as an alternative treatment method especially in organic production establishments in order to prevent the increase of antibiotic resistance.

Keywords – *Origanum onites*, *Ocimum basilicum*, essential oil, antibiotic resistance, Enterobacteriaceae

¹ sedaozdikmenli@comu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde süt sığırcılığı yetiştiriciliğinde meme bezi iltihaplanması olarak bilinen mastitis hastalığı önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Tepeli ve Zorba, 2017; Weiner vd., 2015). Yetiştiricilikte mastitis hastalığı klinik ve subklinik olarak başlıca iki formda ortaya çıkmakla birlikte, çiğ sütte fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik değişikliklere de neden olmaktadır (Santiago vd., 2015). Klinik mastitis hastalığı belirtileri üretici tarafından gözle fark edilebilirken, subklinik mastitis hastalığı ise, üreticiler tarafından çıplak gözle fark edilememektedir. Subklinik mastitisin başlıca etmeni patojen mikroorganizmalar olmakla birlikte, barınak koşulları, sağım hijyeni, çevre koşulları, cins, yaş, ağırlık ve laktasyon sayısı gibi faktörlerde mastitis nedenleri arasındadır (Tepeli ve Zorba, 2017). Antibiyotikler hayvanlarda çeşitli enfeksiyon hastalıklarının tedavisinde kullanılmaları yansira, patojen mikroorganizmaların neden olduğu mastitis tedavisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Şeker ve Özenç, 2010; Dinç, Ata, ve Temelli, 2012; Ünal, 2012). Çevresel mastitis patojeni olan Enterobacteriaceae familyasına ait *E.coli* ve *Klebsiella* gibi etmenler ile mücadelede yan etkilerinin az olması ve bakterisid olmaları nedeniyle beta-laktam antibiyotikler sıklıkla kullanılmaktadır (de Oca, Talavera-Rojas, Soriano-Vargas, Barba-León, ve Vazquez-Navarrete, 2015; Nguyen vd., 2016). Hayvanlarda uygun olmayan antibiyotik tedavileri, mastitis etmeni ve diğer hastalık etmeni patojen mikroorganizmalarda direnç gelişimine neden olduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir (Santiago vd., 2015; Ibrahim, Dodd, Stekel, Ramsden ve Hobman, 2016). Bu antibiyotiklere karşı Enterobacteriaceae familyasına ait türler başta olmak üzere birçok mikroorganizma tarafından üretilen beta-laktamaz enzimleri en önemli direnç mekanizmalarından biridir (Jehl, Chomarar, Weber, ve Gerard, 2003; Elmacioğlu, 2013) Substrat olarak sefotaksimi tercih eden CTX-M enzim sınıfları en yaygın geniş spektrumlu beta-laktamazlar hâline gelmişlerdir (Öge-dey, Cömert, Köktürk, Külâh, ve Aktaş, 2016; Yıldırım ve Pehlivanoglu, 2018). Mastitis tedavisinde antibiyotik kullanımını sınırlandırmak amacı ile araştırmacılar homeopati, kil tedavisi, fitoterapi, esansiyel yağlar, akupunktur, ozon ve oksijen tedavisi gibi alternatif tedavileri araştırmışlardır (Bal, 2011; Oral vd., 2014).

Bu çalışmanın amacı *Origanum onites* ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağlarının antibiyotik dirençli *bla_{CTX-M}* geni içeren peynir üretim sürecinin farklı aşamalarından elde edilmiş Enterobacteriaceae familyasına ait bazı patojen bakteriler üzerindeki antimikrobiyal etkisini belirlemektir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Esansiyel Yağlar

Origanum onites ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağları Tarımsal İklimleme ve Teknoloji Araştırmalar A.Ş (TİKTA)'den temin edilmiştir. TİKTA'dan temin edilen yağların bileşen analizleri Anadolu Üniversitesi Bitki İlaç ve Bilimsel Araştırmalar Merkezi (AÜBİBAM) tarafından Shimadzu GS-9A kullanılarak, Thermon-600 T capillary kolonda (50m x 0.25 mm I.D.F), taşıyıcı gaz olarak azot gazı (split oranı: 60:1), sıcaklık programı olarak; 70°C-10 dakika //2°C/dakika, 180°C-30 dakika, dedektör ve enjeksiyon sıcaklığı 250°C kullanılarak belirlenmiştir. Esansiyel yağların temel bileşenleri alikonma indeksleri ve kütle spektrumları dikkate alınarak GS-9A cihazının kütüphanesi kullanılarak tespit edilmiştir. GS/MS sonuçları Tablo 1'de verilmiştir (Ozdikmenli ve Zorba, 2014, 2016).

Tablo 1

Esansiyel yağların GS/MS sonuçları

<i>Ocimum basilicum</i>		<i>Origanum onites</i>	
Bileşik*	%	Bileşik*	%
1. β -Pinene	1.0	1. Myrcene	1.3
2. 1,8-Cineole	8.8	2. alfa-Terpinene	1.1
3. Linalool	40.6	3. gama-Terpinene	5.6
4. Trans- β -Bergamotene	2.3	4. p-Cymene	4.9

5. Methylchavicol	28.5	5. Linalool	6.1
6. Germacrene D	1.6	6. beta-Caryophyllene	2.0
7. γ -Muuroolene	1.1	7. Borneol	2.0
8. Eugenol	1.9	8. beta-Bisabolene	1.0
9. T- Cadinol	2.0	9. Thymol	1.7
		10. Carvacrol	67.0
Toplam	87.8	Toplam	92.7

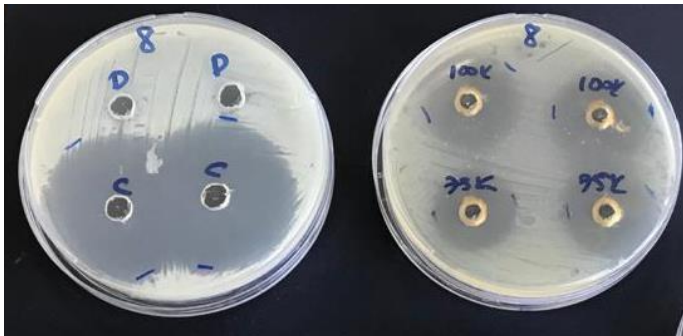
*%1'den büyük bileşikler.

2.2. Çalışmada Kullanılan *bla_{CTX-M}* pozitif Enterobacteriaceae İzolatları ve Standart Kültürler

Çalışmada kullanılan Enterobacteriaceae familyasına ait bakteriler Tepeli (2017) tarafından yapılan önceki çalışmada çiğ süttten başlanarak son ürüne kadar olan peynir üretim sürecinin farklı aşamalarından elde edilmiş ve fenotipik yöntemlerle genişlemiş spektrumlu beta-laktamaz (GSBL) aktivitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Fenotipik olarak GSBL pozitif bulunan izolatlar *bla_{CTX-M}*: F-5-TCTTCCAGAATAAGGAATCCC-3, R- 5-CCGTTTCCGCTATTACAAAC-3, 909 bp primer kullanarak polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ile incelenmiştir (Tepeli, Eser, Gürpınar, Beşli ve Zorba, 2018). *bla_{CTX-M}* pozitif 7 adet *Escherichia coli*, 1 adet *Serratia liquefaciens*, 1 adet *Citrobacter braakii* ve 2 adet *Morganella morganii* bu çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Standart kültür olarak Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü mikrobiyoloji kültür koleksiyonundan pozitif kontrol *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 ve negatif kontrol *E.coli* ATCC 25922 temin edilmiştir.

2.3. Agar Kuyucuk Difüzyon Yöntemi

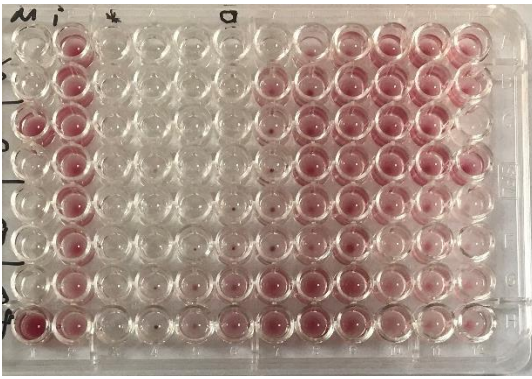
Origanum onites ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağlarının her biri %25, %50, %75 ve %100 (v/v) olmak üzere 4 farklı konsantrasyonda Dimetil sülfoksit (DMSO) ile hazırlanarak analiz edilmiştir. Tryptone Soya Agar (TSA, Merck, Almanya)'da 18-24 saatlik tek düşmüş koloniler 0.5 Mc-Farland bulanıklığına eşdeğer inokülüm hazırlanmasında kullanılmıştır. 2-3 koloni alınarak steril serum fizyolojik su içerisinde süspansiyon haline getirilmiştir. Bulanıklık DEN-1 Mc-Farland densistometresi (Cambridge Ltd, İngiltere) ile ölçülmüştür. 0.5 Mc-Farland bulanıklığındaki süspansiyondan steril eküvyon ile Müller Hinton Agar (MHA, HiMedia, Hindistan) plaklarına ekim yapılmıştır. Bakteri süspansiyonun plak tarafından absorbe edilmesinden sonra plak üzerine uygun mesafelerde 6 mm çapında kuyucuklar açılmıştır. Besiyeri içerisine açılan her kuyucuğa her bir konsantrasyondaki esansiyel yağlardan 100'er μ L eklenmiştir. Plaklar düz bir şekilde 35 °C'de 18-24 saat inkübasyona bırakılmış, inkübasyon sonrası Şekil 1'deki gibi kuyucuklar etrafındaki zon çapları digital kumpas (PM, Çin) ile ölçülmüştür (Boorn vd., 2010; Valgas, de Souza, Smânia ve Smânia Jr, 2007). Pozitif ve negatif kontrol için sırasıyla sefotaksim (2 mg/L) antibiyotiği ve DMSO kullanılmıştır.



Şekil 1. Agar kuyucuk difüzyon yönteminde çap ölçümü

2.4. Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK)

TSA (Merck, Almanya)'da 18-24 saatlik tek düşmüş koloniler 0.5 Mc-Farland bulanıklığına eşdeğer inokülüm hazırlanmıştır. Son bakteri konsantrasyonu 5×10^5 kob/mL olacak şekilde uygun seyreltme yapılmıştır. Mueller Hinton Broth (MHB, HiMedia, Hindistan) içeren mikropalak kuyucuklarına 100 μ L kültür eklenmiştir. Mikropalak kuyucuklarındaki esansiyel yağların son konsantrasyonları 250 μ L/ml-0.48 μ L/ml değerler arasında değişmiştir. Mikropalaklar 35°C'de 18-24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun ardından kuyucuklar içerisinde üremenin olup olmadığı, kuyucuklara %1 tetrazolyum çözeltisi damlatılarak oluşan renk değişimine göre belirlenmiştir. Minimum İnhibisyon Konsantrasyon (MİK) değeri [Şekil 2](#)'de yıldız işaretleri ile gösterildiği gibi bakterinin üremediği en düşük konsantrasyon olarak değerlendirilmiştir ([Jamali vd., 2017](#)).



Şekil 2. Mikropalak yöntemi ile minimum inhibisyon konsantrasyonunun belirlenmesi

2.5. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler SPSS 23.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıklar çift yönlü Anova analizi ile belirlenmiş, karşılaştırmalar Tukey testi ile yapılmıştır. $p < 0.05$ istatistiksel açıdan önemli olarak kabul edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Esansiyel yağlar; bitkilerden ekstraksiyon ve destilasyon gibi çeşitli yöntemlerle elde edilen, oda sıcaklığında genellikle sıvı formda, renksiz veya açık sarı renkli, bulunduğu bitkiye karakteristik özellik taşıyıp bitkiye ait kokuyu veren, çok sayıda kimyasal bileşenden oluşan ve sudan daha küçük molekül ağırlığına sahip olduğundan dolayı su ile karışmadan taşınabilme özelliğine sahip uçucu yağlardır ([Burt, 2004](#)). Uçucu yağlar mikroorganizmalar üzerine bakteriyostatik veya bakteriyosidal etki gösterebilirken, bu etkiler mikroorganizmaların hücre duvarı yapısı ve dış membran düzenlenmesine bağlı olarak mikroorganizma cinsine ve hatta türlerine göre de değişmektedir ([Burt, 2004](#); [Bajpai, Baek, ve Kang, 2012](#); [Ozdikmenli ve Zorba, 2014, 2016](#)). Çalışmamızda *Origanum onites* ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağları kullanılmış olup yağların temel bileşeni sırasıyla %67.0 carvacrol ve %40.6 linalool olarak belirlenmiştir. Bu esansiyel yağların *bla_{CTX-M}* geni taşıdığı tespit edilmiş *E.coli*, *Serratia liquefaciens*, *Citrobacter braakii*, *Morganella morganii*, üzerine etkisi incelenmiştir. Bu mikroorganizmalar insan ve hayvan bağırsak florasında yer alan enterik bakterilerdir. Hava, su ve toprakta bulunabilen insanda ve hayvanlarda fırsatçı patojen özelliğine sahiptir. Dört farklı konsantrasyonda hazırlanan *Origanum onites* esansiyel yağının *bla_{CTX-M}* pozitif *E.coli*, *Serratia liquefaciens*, *Citrobacter braakii*, *Morganella morganii* üzerine antimikrobiyal etkisi [Tablo 2](#)'de zon çapları ile verilmiştir. Zon çaplarının (mm) büyük olması *Origanum onites* esansiyel yağının antimikrobiyal etkisinin

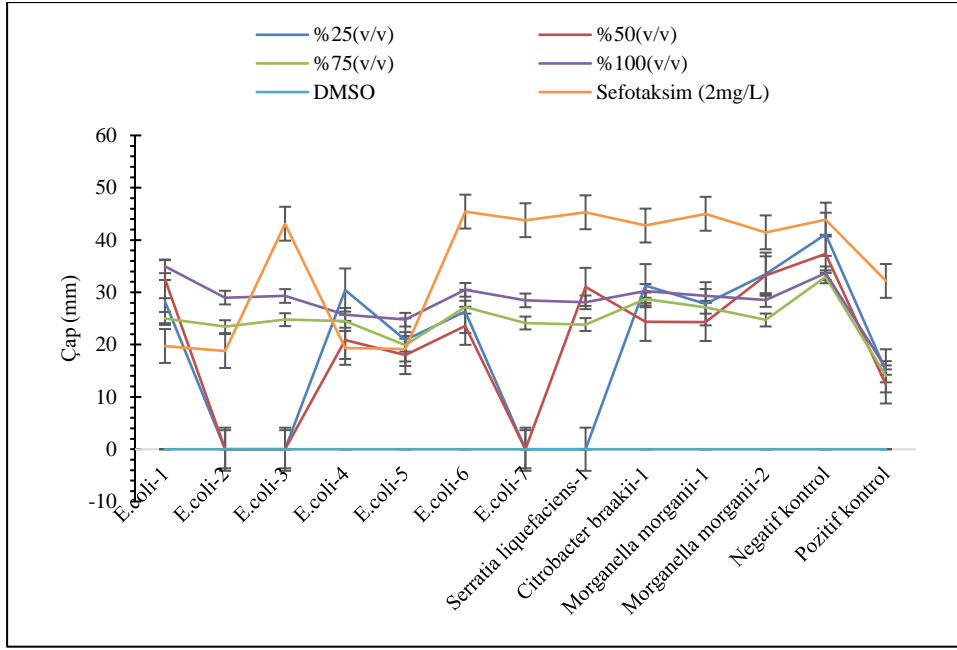
fazla olduğunu ifade etmektedir. Esansiyel yağların konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuş iken %25 ile %100 (v/v) konsantrasyonlardaki *Origanum onites* esansiyel yağının inhibisyon zon çapları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p>0.05$) bulunmamıştır. Düşük konsantrasyondaki esansiyel yağın seçilen bakteriler üzerine inhibisyon etkisinin zayıf olduğu tahmin edilmektedir. Yüksek konsantrasyondaki esansiyel yağın çözücünün ortamdan uzaklaşması, etken maddenin bakteri hücre duvarına bağlanması için ortamda daha az yüklü bölgelerin kalmasına ve antibakteriyel etkide azalma meydana getirdiği böylece %25 (v/v) konsantrasyondaki esansiyel yağ ile benzer sonuç verdiği düşünülmektedir (Goy, Britto, ve Assis, 2009). *Origanum onites* esansiyel yağının *E.coli-1*, *E.coli-3*, *E.coli-7* üzerine antimikrobiyal etkisi arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p>0.05$) değil iken diğer bakteriler ile arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Ayrıca *bla_{CTX-M}* pozitif *Serratia liquefaciens-1*, *Citrobacter braakii-1*, *Morganella morganii-2* üzerine antimikrobiyal etkisinin benzer olduğu tespit edilmiştir (bkz. [Şekil 3](#)).

Tablo 2.

Origanum onites esansiyel yağının *bla_{CTX-M}* pozitif Enterobacteriaceae üzerine etkisi, agar kuyucuk difüzyon yöntemi sonuçları (çap-mm)

Mikroorganizmalar	<i>Origanum onites</i> konsantrasyonları %(v/v)					
	25	50	75	100	DMSO	Sefotaksim (2mg/L)
<i>E.coli-1</i>	28.23±1.40Aa	32.52±0.36Ab	25.01±1.16Ac	34.97±1.20Aa	<=6.00Ae	19.74±0.53Af
<i>E.coli-2</i>	>50.00Ba	>50.00Bb	23.43±1.23Bc	28.99±0.15Ba	<=6.00Be	18.78±0.44Bf
<i>E.coli-3</i>	>50.00Aa	>50.00Ab	24.77±1.64Ac	29.30±0.91Aa	<=6.00Ae	43.12±1.06Af
<i>E.coli-4</i>	30.44±0.50Ca	20.89±0.26Cb	24.47±0.45Cc	25.71±0.14Ca	<=6.00Ce	19.38±1.57Cf
<i>E.coli-5</i>	20.91±0.05Ba	18.01±0.37Bb	19.90±0.38Bc	24.77±1.40Ba	<=6.00Be	19.15±0.00Bf
<i>E.coli-6</i>	26.36±0.86ADa	23.60±1.22ADb	27.16±0.93ADc	30.48±1.04ADa	<=6.00ADe	45.43±1.35ADf
<i>E.coli-7</i>	>50.00Aa	>50.00Ab	24.13±0.80Ac	28.46±0.14Aa	<=6.00Ae	43.79±0.02Af
<i>Serratia liquefaciens-1</i>	30.31±0.09Da	31.04±1.55Db	23.84±0.79Dc	28.09±0.30Da	<=6.00De	45.31±0.37Df
<i>Citrobacter braakii-1</i>	31.27±0.27Da	24.35±0.55Db	28.73±1.03Dc	30.27±0.40Da	<=6.00De	42.77±0.53Df
<i>Morganella morganii-1</i>	27.81±0.91Da	24.33±0.67Db	27.15±1.42Dc	29.32±0.62Da	<=6.00De	45.02±0.02Df
<i>Morganella morganii-2</i>	33.47±0.32Da	33.24±1.07Db	24.71±0.57Dc	28.53±1.37Da	<=6.00De	41.47±0.45Df
<i>E.coli</i> ATCC 25922 (negatif kontrol)	41.10±1.30Ea	37.36±1.27Eb	32.96±1.52Ec	33.65±0.60Ea	<=6.00Ee	43.91±0.30Ef
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603 (pozitif kontrol)	14.99±1.08Fa	12.39±0.00Fb	14.03±0.25Fc	15.54±0.43Fa	<=6.00Fe	32.18±0.45Ff

*Büyük ve farklı harfler (örneğin, A) aynı konsantrasyondaki esansiyel yağların mikroorganizmalar arası farkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ($p<0.05$) temsil etmektedir. Küçük ve farklı harfler (örneğin, b) aynı mikroorganizma üzerine farklı konsantrasyonların istatistiksel olarak ($p<0.05$) önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. *Origanum onites* esansiyel yağının bla_{CTX-M} pozitif Enterobacteriaceae üzerine etkisi

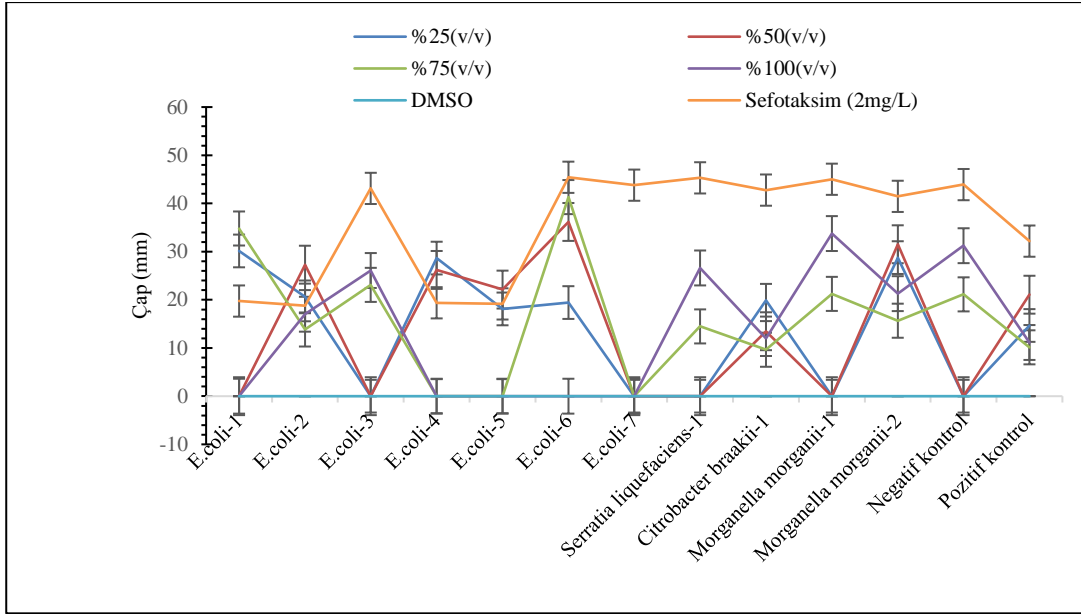
Farklı konsantrasyondaki *Ocimum basilicum* esansiyel yağının antibiyotik dirençli (bla_{CTX-M} pozitif) bazı Enterobacteriaceae üzerine etkisi Tablo 3'te gösterilmiştir. Esansiyel yağların *E.coli-3*, *Morganella morganii-2* ve *E.coli* ATCC 25922 (negatif kontrol) üzerine antimikrobiyal etkisi benzer bulunmuştur ($p>0.05$). Diğer bakteriler üzerine etkisi arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). *Origanum onites* ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağlarının %50 (v/v) konsantrasyonunun bla_{CTX-M} pozitif bakteriler üzerine en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Tablo 3.

Ocimum basilicum esansiyel yağının bla_{CTX-M} pozitif Enterobacteriaceae üzerine etkisi, agar kuyucuk difüzyon yöntemi sonuçları (çap-mm)

Mikroorganizmalar	<i>Ocimum basilicum</i> konsantrasyonları % (v/v)					
	25	50	75	100	DMSO	Sefotaksim (2mg/L)
<i>E.coli-1</i>	30.14±1.47Aa*	>50.00Ab	34.87±1.34Ac	>50.00Aa	≤6.00Ae	19.74±0.53Af
<i>E.coli-2</i>	20.61±0.84Ba	27.29±0.01Bb	13.84±0.28Bc	17.01±0.76Ba	≤6.00Be	18.78±0.44Bf
<i>E.coli-3</i>	>50.00Ca	>50.00Cb	23.10±0.31Cc	26.08±0.96Ca	≤6.00Ce	43.12±1.06Cf
<i>E.coli-4</i>	28.66±0.42Da	26.20±1.04Db	>50.00Dc	>50.00Da	≤6.00De	19.38±1.57Df
<i>E.coli-5</i>	18.11±0.01Ea	22.12±0.36Eb	>50.00Ec	>50.00Ea	≤6.00Ee	19.15±0.00Ef
<i>E.coli-6</i>	19.43±1.57Fa	36.16±0.00Fb	41.32±1.24Fc	>50.00Fa	≤6.00Fe	45.43±1.35Ff
<i>E.coli-7</i>	>50.00ACa	>50.00ACb	>50.00ACc	>50.00ACa	≤6.00ACe	43.79±0.02ACf
<i>Serratia liquefaciens-1</i>	>50.00Aa	>50.00Ab	14.48±1.32Ac	26.61±1.13Aa	≤6.00Ae	45.31±0.37Af
<i>Citrobacter braakii-1</i>	19.91±1.54Ba	13.48±0.65Bb	9.64±0.34Bc	11.96±0.02Ba	≤6.00Be	42.77±0.53Bf
<i>Morganella morganii-1</i>	>50.00CGa	>50.00CGb	21.23±0.50CGc	33.75±0.07CGa	≤6.00CGe	45.02±0.02CGf
<i>Morganella morganii-2</i>	28.76±1.75Ca	31.53±0.38Cb	15.66±0.86Cc	21.28±0.65Ca	≤6.00Ce	41.47±0.45Cf
<i>E.coli</i> ATCC 25922 (negatif kontrol)	>50.00Ca	>50.00Cb	21.13±1.71Cc	31.23±0.72Ca	≤6.00Ce	43.91±0.30Cf
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603 (pozitif kontrol)	14.67±0.46Ea	21.06±0.49Eb	10.14±0.82Ec	11.14±0.39Ea	≤6.00Ee	32.18±0.45Ef

*Büyük ve farklı harfler (örneğin, A) aynı konsantrasyondaki esansiyel yağların mikroorganizmalar arası farkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ($p<0.05$) temsil etmektedir. Küçük ve farklı harfler (örneğin, b) aynı mikroorganizma üzerine farklı konsantrasyonların istatistiksel olarak ($p<0.05$) önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. *Origanum basilicum* esansiyel yağının *bla_{CTX-M}* pozitif Enterobacteriaceae üzerine etkisi

Origanum onites (kekik) ve *Ocimum basilicum* (fesleğen) esansiyel yağlarının GSBL (*bla_{CTX-M}*) pozitif Enterobacteriaceae üzerine minimum inhibisyon konsantrasyonları (MİK) Tablo 4’te verilmiştir. *Origanum onites* esansiyel yağının MİK değerleri <0.48 µL/mL olarak tespit edilmişken, *Ocimum basilicum* esansiyel yağının MİK değerleri 31.25 ile <0.48 µL/mL arasında tespit edilmiştir. [Sienkiewicz, Łysakowska, Denys ve Kowalczyk, \(2012\)](#) farklı bir çeşit kekik olan *Thymus vulgaris* esansiyel yağlarının agar dilüsyon yöntemi ile antibiyotik dirençli *E. coli* etkisini incelediği çalışmada MİK değerini 0.25 ile 0.5 µL/mL olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada ise *E. coli* izolatlarına karşı *Origanum onites* (kekik) esansiyel yağına karşı MİK değeri <0.48 µL/mL olarak tespit edilmiştir. Çalışmamızda benzer sonuçlar elde edilmiştir. [Sienkiewicz, Łysakowska, Pas-tuszka, Bienias, ve Kowalczyk, \(2013\)](#) tarafından yapılan diğer bir çalışmada *Ocimum basilicum* L. esansiyel yağının antibiyotik dirençli *E. coli* üzerine etkisi araştırmış, MİK değerleri 8.0 -9.25 µL/mL değerleri arasında tespit edilmiştir. Çalışmamızda ise *Ocimum basilicum* esansiyel yağının *bla_{CTX-M}* pozitif *E. coli* izolatlarına karşı MİK değerleri (1.94-31.25 µL/mL) daha geniş bir aralıkta tespit edilmiştir. [Benameur vd. \(2019\)](#). *Thymus vulgari* (kekik) esansiyel yağın *bla_{ESBL}* üreten Enterobacteriaceae üzerine etkisini incelediği çalışmada inhibisyon zon çaplarını disk difüzyon yöntemi ile 24–40 mm/10µL ve MİK değerlerini 2.87–11.5 µg/mL arasında tespit etmiştir. Bu çalışmada ise *Origanum onites* (kekik) esansiyel yağının agar kuyucuk difüzyon yöntemi ile 15.54- 34.97 mm/100 µL olarak tespit edilirken MİK değeri daha düşük olarak (<0.48 µL/mL) olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.

Origanum onites ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağların Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu değerleri (µL/mL)

	<i>Origanum onites</i>	<i>Ocimum basilicum</i>
<i>E. coli</i> 1	<0.48	15.62
<i>E. coli</i> 2	<0.48	7.81
<i>E. coli</i> 3	<0.48	1.95
<i>E. coli</i> 4	<0.48	3.90
<i>E. coli</i> 7	<0.48	31.25
<i>E. coli</i> 10	<0.48	7.81
<i>E. coli</i> 12	<0.48	7.81
<i>Serratia liquefaciens</i> 8	<0.48	0.97
<i>Citrobacter braakii</i> 9	<0.48	1.95

<i>Morganella morgani</i> 11	<0.48	31.25
<i>Morganella morgani</i> 13	<0.48	<0.48
<i>E.coli</i> ATCC 25922 (negatif kontrol)	<0.48	3.90
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603 (pozitif kontrol)	<0.48	62.5

[Vasconcelos vd. \(2019\)](#) *Origanum vulgare* L. esansiyel yağının diğer bir beta-laktam grubu antibiyotiklerinden olan karbapeneme dirençli *Klebsiella pneumoniae*, *Serratia marcescens* ve *Acinetobacter baumannii* üzerine MİK değerini %0.059 ile 0.015 (v/v) arasında tespit etmiştir. Ayrıca *Origanum*'un etken maddesi olan carvacrol'un günümüze kadar toksik olarak rapor edilmediği, GRAS olarak gıda maddelerine ilavesi onaylanmış olduğunu ifade etmiştir. [Dadashi vd. \(2016\)](#) *bla_{CTX-M-15}* taşıdığı tespit edilen *K. pneumoniae* izolatları üzerine disk difüzyon ve sıvı mikrodilüsyon yöntemi ile *Zataria multiflora* Boiss ekstraktının etkisini incelenmiş ve MİK değerlerini 1.56- 3.12 mg/mL arasında tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda bazı sonuçları birbirine benzer iken bazı sonuçların birbirinden farklı olduğu tespit edilmesinin başlıca nedenleri; Esansiyel yağların elde edildiği bitkilerin farklı coğrafi bölgelerde yetişmesi, hasat mevsimi, genotipi, iklim, kurutma yöntemi ve bitkinin distile edilen bölümünden ileri gelmektedir. Tüm bu değişkenler esansiyel yağın kimyasal yapısını ve içerdiği bileşenlerin miktarını etkilemektedir ([Mcgimpsey, Douglas Van Klink, Beauregard ve Perry, 1994](#)). Esansiyel yağların kimyasal yapısı onların antibakteriyal aktivitelerini etkilemekle birlikte bu etkiler mikroorganizma türlerine göre de değişiklik göstermektedir ve bu değişiklik mikroorganizmaların hücre duvarı yapısı ve dış membran düzenlenmesi ile ilişkilidir ([Kalemba ve Kunicka, 2003](#); [Ozdikmenli ve Zorba, 2014, 2016](#)).

Bilim insanları tarafından insanoğlunu bekleyen en büyük tehlikenin antibiyotik direnci olduğu bildirilmektedir ([Verraes vd, 2013](#); [Lalak vd, 2016](#)). Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Uluslararası Dünya Bulaşıcı Hayvan Hastalıkları Örgütü (OIE) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gibi uluslararası kuruluşlar hayvanlardan insanlara geçen ve insanlarda antibiyotik direncini arttıran bu tehlikenin üzerinde önemle durmaktadırlar. Dünya genelinde beta-laktam antibiyotiklerin insan sağlığında yaygın kullanımı ve veteriner hekimliğinde uygun olmayan kullanımı, özellikle Enterobacteriaceae familyasına ait bakterilerin beta-laktamaz üretimi gibi farklı direnç mekanizmaları geliştirmesine neden olmuştur ([Kolhapure, Kumar, Rajkumar, 2015](#); [de Oca vd, 2015](#); [Weiner vd., 2015](#); [Lalak vd, 2016](#)). GSBL dirençli suşların enfekte hayvan ve insanlar aracılığı ile bulaşmasının yanı sıra gıda zinciri yoluyla bulaşma ihtimalini olduğu belirlenmiş ve süt, kırmızı et ve tavuk ürünlerinde dirençli bakterilere rastlanmıştır ([Verraes vd, 2013](#); [Weiner vd, 2015](#); [Huijbers vd., 2015](#); [Nyugen vd., 2016](#)). Gittikçe büyüyen antibiyotik direnç sorununa karşı hastalıklar ile mücadelede esansiyel yağlar ve etken maddeleri alternatif tedavi yöntemi olarak araştırmacıların ilgisini çekmiştir.

4. Sonuçlar

Çalışma sonucunda çevresel mastitis etmeni ve fırsatçı patojen olan antibiyotik dirençli (*bla_{CTX-M}* pozitif) *E.coli*, *Serratia liquefaciens*, *Citrobacter braakii*, *Morganella morgani* üzerine %50 (v/v) *Origanum onites* ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağ konsantrasyonlarının en iyi antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir. Yüksek konsantrasyondaki esansiyel yağın çözücünün ortamdaki uzaklaşması, etken maddenin bakteri hücre duvarına bağlanması için ortamda daha az yüklü bölgelerin kalmasına ve antibakteriyel etkide azalma meydana getirdiğinden dolayı %50 (v/v) konsantrasyonun %100 (v/v) konsantrasyondaki esansiyel yağdan daha etkili olmasına neden olduğu düşünülmektedir ([Goy, Britto, ve Assis, 2009](#)). Çalışmamızda *Origanum onites* ve *Ocimum basilicum* esansiyel yağlarının her biri %25, %50, %75 ve %100 (v/v) konsantrasyonlarda kullanılmıştır. Bu konsantrasyonlardaki esansiyel yağların mastitis tedavisinde enfekte memeye uygulanma olasılığı değerlendirilmiştir. Bu esansiyel yağlardan oluşan karışımlar antibiyotik dirençliliğin artmasını önlemek için özellikle organik üretim yapan ve kalıntı problemi yaşayan büyük işletmelerde alternatif tedavi yöntemi olarak kullanılabilir. Esansiyel yağların hasta hayvanlar üzerindeki etkilerini moleküler, immünolojik ve histolojik bulgular eşliğinde ayrıntılı olarak inceleyen çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Teşekkür

Çalışmanın gerçekleştirilmesindeki desteği için Gıda Yük. Müh. Burcu Kaya ve Dr. Öğr. Üyesi Dilvin İpek'e teşekkür ederim.

Yazar Katkıları

Yazar Seda Özdikmenli Tepeli: Analizi planlamış, tasarlamış, veri toplamış, analizini yapmış, çalışmanın istatistiksel analizlerini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Kaynaklar

- Bajpai, V. K., Baek, K. H. ve Kang, S. C. (2012). Control of *Salmonella* in foods by using essential oils: A review. *Food Research International*, 45(2), 722-734. doi:10.1016/j.foodres.2011.04.052
- Bal, Y. (2011). Organik süt ineği işletmelerinde mastitis sorununa yaklaşımlar. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 82(2), 7-14. <http://veteriner.org.tr/files/dergi/cilt82sayi2/2.pdf>
- Benameur, Q., Gervasi, T., Pellizzeri, V., Pluchtová, M., Tali-Maama, H., Assaous, F. ve Marino, A. (2019). Antibacterial activity of *Thymus vulgaris* essential oil alone and in combination with cefotaxime against bla ESBL producing multidrug resistant Enterobacteriaceae isolates. *Natural Product Research*, 33(18), 2647-2654. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1466124>
- Boorn, K. L., Khor, Y. Y., Sweetman, E., Tan, F., Heard, T. A. ve Hammer, K. A. (2010). Antimicrobial activity of honey from the stingless bee *Trigona carbonaria* determined by agar diffusion, agar dilution, broth microdilution and time-kill methodology. *Journal of Applied Microbiology*, 108(5), 1534-1543. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04552.x
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods- a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223-253. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022
- Dadashi, M., Hashemi, A., Eslami, G., Fallah, F., Goudarzi, H., Erfanimanesh, S. ve Taherpour, A. (2016). Evaluation of antibacterial effects of *Zataria multiflora* Boiss extracts against ESBL-producing *Klebsiella pneumoniae* strains. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 6(3), 336.
- De Oca S. A. M., Talavera-Rojas, M., Soriano-Vargas, E., Barba-León, J. ve Vazquez-Navarrete, J. (2015). Determination of extended spectrum b-Lactamases/Ampc b-lactamases and plasmid-mediated quinolone resistance in *Escherichia coli* isolates obtained from bovine carcasses in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 47(5), 975-981. DOI 10.1007/s11250-015-0818-3
- Dinç, G., Ata, Z. ve Temelli, S. (2012). Sığır mastitislerinden izole edilen *Escherichia coli* suşlarında genişlemiş spektrumlu beta-laktamaz aktivitesi ve antibiyotik dirençlilik profilinin incelenmesi. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, (59), 85-88. <http://vetjournal.ankara.edu.tr/download/article-file/698397>
- Elmacıoğlu, S. (2013). *Sığırlarda geniş spektrumlu beta-laktamaz sentezleyen Escherichia coli prevalansının belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Goy, R. C., Britto, D. D. ve Assis, O. B. (2009). A Review of the antimicrobial activity of chitosan. *Polímeros*, 19(3), 241-247. DOI: 10.1590/S0104-14282009000300013
- Huijbers, P. M., van Hoek, A. H., Graat, E. A., Haenen, A. P., Florijn, A., Hengeveld, P. D. ve van Duijkeren, E. (2015). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and extended-spectrum and AmpC β -lactamase-producing *Escherichia coli* in broilers and in people living and/or working on organic broiler farms. *Veterinary microbiology*, 176(1-2), 120-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.12.010>
- Ibrahim, D. R., Dodd, C. E., Stekel, D. J., Ramsden, S. J. ve Hobman, J. L. (2016). Multidrug resistant, extended spectrum β -lactamase (ESBL)-producing *Escherichia coli* isolated from a dairy farm. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(4). doi: 10.1093/femsec/fiw013

- Jamali, C. A., Kasrati, A., Fadli, M., Hassani, L., Leach, D. ve Abbad, A. (2017). Synergistic effects of three Moroccan thyme essential oils with antibiotic cefixime. *Phytothérapie*, 1-6. DOI:[10.3166/phyto-2019-0143](https://doi.org/10.3166/phyto-2019-0143)
- Jehl, F., Chomarar, M., Weber, M. ve Gerard, A. (2003). *Antibiyotik duyarlılık testlerinden reçeteye*. s.76, İstanbul: BioMerioux yayınları.
- Kalemba, D. ve Kunicka, A. (2003). Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current Medicinal Chemistry*, 10(10), 813–829. DOI: [10.2174/0929867033457719](https://doi.org/10.2174/0929867033457719)
- Kolhapure, R. M., Kumar, A. ve Rajkumar, H. R. V. (2015). Coexpression of ESBL, AmpC and MBL in gram negative bacilli. *International Journal of Research in Medical Sciences*, 3(10), 2698–2703. DOI: <http://dx.doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20150817>
- Lalak, A., Wasyl, D., Zajac, M., Skarzyńska, M., Hoszowski, A., Samcik, I., Wozniakowski, G. ve Szulowski, K. (2016). Mechanisms of cephalosporin resistance in indicator *Escherichia coli* isolated from food animals. *Veterinary Microbiology*, 194, 69-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2016.01.023>
- McGimpsey, A. J., Douglas, M. H., Van Klink, W. J., Beaugard, D. A. ve Perry, B. N. (1994). Seasonal variation in essential oil yield and composition from naturalized *Thymus vulgaris* L. in New Zealand. *Flavour and Fragrance Journal*, 9(6), 347–352.
- Nguyen, D. P., Nguyen, T. A. D., Le, T. H., Tran, N. M. D., Ngo, T. P., Dang, V. C., Kawai T., Kanki M., Kawahara R., Jinnai M., Yonogi S., Hirai Y., Yamamoto Y. ve Kumeda Y. (2016). Dissemination of extended-spectrum β -lactamase-and AmpC β -lactamase-producing *Escherichia coli* within the food distribution system of Ho Chi Minh City, Vietnam. *BioMed research international*. <https://doi.org/10.1155/2016/8182096>
- Oral, H., Çolak, A., Polat, B., Cengiz, M., Cengiz, S., Baştan, A. ve Kaya, S. (2014). Sütçü ineklerde subklinik mastitisin tedavisinde Aloe vera kullanımının etkinliği. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 11(3), 157-161. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/268532>
- Ögedey, D. E., Cömert, F., Köktürk, F., Külah, C. ve Aktaş, E. (2016). Genişlemiş spektrumlu beta-laktamaz (GSBL) üreten *Escherichia coli* ve *Klebsiella* spp. izolatlarında CTX-M enzimlerinin belirlenmesi. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 46(2), 88-96. http://tmc.dergisi.org/pdf/pdf_TMC_556.pdf
- Ozdikmenli, S. ve Zorba N.N (2014). Uçucu yağların *Staphylococcus aureus* üzerine etkisi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(5), 228-235. DOI: [10.24925/turjaf.v2i5.228-235.118](https://doi.org/10.24925/turjaf.v2i5.228-235.118)
- Ozdikmenli, S. ve Zorba, N. N. D. (2016). Evaluation of usage of essential oils instead of spices in meat ball formulation for controlling *Salmonella* spp. *Food Science and Technology International*, 22(2), 93-101. DOI: [10.1177/1082013215571118](https://doi.org/10.1177/1082013215571118)
- Santiago, G.S., Lasagno, M.C., Alencar, T.A., Ribeiro, L., Dubenczuk, F.C., Oliva, M.S. ve Coelho, S.M. (2015). AmpC-lactamase production in Enterobacteria associated with bovine mastitis in Brazil. *African Journal of Microbiology Research*, 9(8), 503-508. DOI: [10.5897/AJMR2014.7243](https://doi.org/10.5897/AJMR2014.7243)
- Sienkiewicz, M., Łysakowska, M., Denys, P. ve Kowalczyk, E. (2012). The antimicrobial activity of thyme essential oil against multidrug resistant clinical bacterial strains. *Microbial Drug Resistance*, 18(2), 137-148. DOI: [10.1089/mdr.2011.0080](https://doi.org/10.1089/mdr.2011.0080)
- Sienkiewicz, M., Łysakowska, M., Pastuszka, M., Bienias, W. ve Kowalczyk, E. (2013). The potential of use basil and rosemary essential oils as effective antibacterial agents. *Molecules*, 18(8), 9334-9351. DOI: [10.3390/molecules18089334](https://doi.org/10.3390/molecules18089334)
- Şeker, E. ve Özenç, E. (2010). Mastitisli inek sütlerinden izole edilen koagulaz negatif stafilkokların antibiyotik dirençlilikleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 21(2), 107-111. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/146483>
- Tepeli, S. Ö. ve Zorba, N. N. (2017). Çanakale (Yenice) ilinde üretilen çiğ sütlerin bazı özellikleri ve subklinik (Gizli) mastitis görülme oranı. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 18(1), 41-47. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/328841>
- Tepeli, S.Ö. (2017). Klasik peynir üretim Sürecinde GSBL ve Ampc Üreten Enterobacteriaceae izolatlarının

- belirlenmesi (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Tepeli, S.Ö, Eser, Ö., Gürpınar, Ö., Beşli, Y. ve Zorba, N. N. (2018) Peynir üretim aşamalarından elde edilmiş Enterobacteriaceae izolatlarında antibiyotik direnç genlerinin varlığı ve ısıl direnç. 38. *Türk mikrobiyoloji kongresi* (p. 146). Antalya, Türkiye.
- Ünal, N. (2012). Mastitisli hayvanlardan izole edilen Stafilokokların antibiyotik direnci ve hayvanlarda metisiline dirençli *Staphylococcus aureus*. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 9(3), 221-231. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/66211>
- Valgas, C., Souza, S. M. D., Smânia, E. F. ve Smânia, Jr, A. (2007). Screening methods to determine antibacterial activity of natural products. *Brazilian journal of microbiology* 38(2), 369-380. [DOI:10.1590/S1517-83822007000200034](https://doi.org/10.1590/S1517-83822007000200034)
- Vasconcelos, N. G., Croda, J., Silva, K. E., Motta, M. L. L., Maciel, W. G., Limiere, L. C. ve Simionatto, S. (2019). Origanum vulgare L. essential oil inhibits the growth of carbapenem-resistant gram-negative bacteria. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 52. [doi: 10.1590/0037-8682-0502-2018](https://doi.org/10.1590/0037-8682-0502-2018)
- Verraes, C., Boxstael, S., Meervenue, E.V., Coillie, E.V., Butaye, P., Catry, B., Schaetzen, M. A., Huffel, X. V., Imberechts, H., Dierick, K., Daube, G., Saegerman, C., Block, J., Dewulf, J., Herman, L. (2013). Antimicrobial Resistance in The Food Chain: A Review. *International Journal of Environmental Research Public Health*, 10, 2643-2669. [DOI: 10.3390/ijerph10072643](https://doi.org/10.3390/ijerph10072643)
- Weiner, M., Rózańska, H., Kubajka, M., Szulowski, K., Krajewska M. ve Wasiński, B. (2015). Occurrence and characterisation of MRSA and extended-spectrum β - Lactamases producing *Escherichia coli* isolated from mastitic cows' milk. *Bulletin of the Veterinary Institute Pulawy*, 59(2), 191-195. [DOI: 10.1515/bvip-2015-0029](https://doi.org/10.1515/bvip-2015-0029)
- Yıldırım, D. ve Pehlivanoğlu, F. (2018). Buzağuların genişlemiş spektrumlu beta laktamaz üreten *Escherichia coli* taşıyıcılığı. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veterinerlik Dergisi*, 32(3), 155-160. http://veteriner.fusabil.org/pdf/pdf_FUSABIL_1291.pdf



Deniz Ekosisteminde Bakteriye Roller; Türkiye Denizleri Örneği

Gülşen Altuğ^{1,*}, Mine Çardak², Pelin S. Çiftçi Türetken¹, Sevan Gürün¹, Samet Kalkan³

¹Deniz Biyolojisi Bölümü, Su Bilimleri Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Bahççılık Teknolojisi Bölümü, Çanakkale Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

³Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, Su Ürünleri Fakültesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 16.10.2019

Kabul: 27.08.2020

Yayın: 15.12.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Sucul ekosistemlerde bakterilerin organik maddelerin bozunma süreçlerinde ve besin yenilenmesinde önemli bir role sahip olduğu bilinmektedir. Bu sebeple bakteriyel fonksiyonların tanımlanması için çevresel koşulların değişkenliğine bağlı olarak bakteriyel metabolik cevabın farklılığını ortaya koymak deniz ekosisteminin bakteriyolojik verilerle tanımlanması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada 2000-2016 yılları arasında Türkiye Denizlerinden farklı çalışmalar kapsamında aseptik koşullarda toplanan deniz suyu örneklerinden izole edilen ve stoklanan Gram negatif, Gram pozitif ve Bacilli bakteri izolatlarının metabolik özellikleri bakterilerin substratlara karşı verdikleri reaksiyon açısından değerlendirilerek, coğrafik olarak heterotrofik aktivite farklılıkları tanımlanmıştır. Ayrıca metabolik olarak aktif bakteri frekansının bölgesel farklılıkları değerlendirilmiştir. Deniz suyu örneklerinde kültür edilebilir bakterilerin izolasyonu yayma plak metodu kullanılarak yapılmış, saflaştırılan izolatların metabolik tanımlamaları için VITEK2 Compact 30 mikro tanımlama sistemi kullanılmıştır. Elde edilen bakterilerin substratlara karşı reaksiyonları ve bakteriyel metabolik aktivasyon düzeylerine yönelik veriler Türkiye Denizlerinde bakteriyel oluşumların çevresel faktörlere maruz kalış şekline göre karakterize olmuştur. Kıyısız alanlarda karbonhidrat metabolizması ile ilgili enzimleri üreten ayrıca lipolitik ve proteolitik enzim aktivitesine sahip Bacilli, Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Actinobacteria, Flavobacteria ve Sphingobacteria sınıflarına ait izolatların yüksek düzeyde bulunması karasal kaynaklı insan aktivitesinin kıyısız alanlarda baskısının bakteri metabolizmasına bağlı olarak tanımlanabileceğini göstermiştir. Bu çalışma ile 2000-2016 yılları arasında farklı çalışmalarımızla Türkiye Denizlerinden izole edilen bakterilerin enzim profillerine bağlı metabolik özelliklerinin karşılaştırılması yapılarak deniz alanlarımızın bakteriyel karakterleri karşılaştırılmış ve coğrafik alanlara göre ekosistem fonksiyonlarına yönelik veriler sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler – Türkiye Denizleri, bakteriyel çeşitlilik, heterotrofik aktivite

Bacterial Roles in the Marine Ecosystem; A Sample Case of Turkish Marine Bacteria

¹Department of Marine Biology, Faculty of Aquatic Sciences, Istanbul University, Istanbul, Turkey

²Department of Fisheries Technology, Çanakkale School of Applied Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

³Department of Marine Biology, Faculty of Fisheries and Aquatic Sciences, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey

Article History

Received: 16.10.2019

Accepted: 27.08.2020

Published: 15.12.2020

Research Article

Abstract – In aquatic ecosystems, bacteria are known to play an important role in the degradation processes of organic substances and in nutritional regeneration. For this reason, it is important to define the functioning of the marine ecosystem to determine the difference of bacterial metabolic response depending on the variability of environmental conditions for the identification of bacterial functions. In this study, metabolic properties of Gram-negative, Gram-positive and Bacilli bacteria isolated and stocked from sea water samples, collected in aseptic conditions, between 2000 and 2016 were evaluated and heterotrophic activity differences were defined geographically, according to the reaction of bacteria against substrates. In addition, regional differences in metabolically active bacterial frequency were evaluated. VITEK2 Compact 30 micro identification system was used for metabolic identification of purified isolates. The data on the reactions of bacteria against substrates and the levels of bacterial metabolic activation were characterized by the way bacterial formations were exposed to environmental factors in the Turkish Seas. The high levels of isolates belonging to Bacilli, Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Actinobacteria, Flavobacterium and Sphingobacterium classes producing enzymes related to carbohydrate metabolism in coastal areas and also having lipolytic and proteolytic enzyme activity showed that the pressures created by terrestrial human activities in coastal areas can be defined depending on bacterial metabolism. With this study, the metabolic properties of bacteria isolated from Turkish Seas were compared with enzyme profiles and the bacterial characters of our marine areas were compared and data regarding ecosystem functions were provided according to geographical areas.

Keywords – Turkish Seas, bacterial biodiversity, heterotrophic activity

¹ galtug@istanbul.edu.tr*

² mcardak@comu.edu.tr

³ pciftci@istanbul.edu.tr

⁴ sevanguzun@hotmail.com

⁵ samet.kalkan@erdogan.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Denizel alanlarda; besin zinciri üzerinde önemli rolleri olan ve ekosistemin bir parçası olarak bulunan bakteriler ortamda çözünmeden kalan bir çok bileşiği başka organizmalar tarafından değerlendirilebilecek formlara dönüştürmektedir (Azam ve Cho, 1987; Heissenberger vd.,1996). “Deniz Bakteriyolojisi” çalışmaları başlangıçta halk sağlığı ile ilgilenen bir alan iken zamanla çevresel faktörlere bağlı olarak bakterilerin doğal düzeylerinde olan değişikliklerin ve ekosistem/insan sağlığı ile ortamın ekonomik kullanılabilirlik kalitesinde oluşabilecek olumsuzlukların belirlendiği çalışmalarla literatüre girmiştir. Son yıllarda yeni teknolojilerin ve metotların gelişmesi ile bakteriyolojik çeşitlilik, bakteriyel metabolik özelliklerin belirlenmesi, biyotransformasyon, besin zinciri üzerindeki rollerin belirlenmesi, biyofilm oluşumu, biyoteknolojik alanlardaki potansiyelin belirlendiği çalışmalar mikrobiyal oşinografi verileri ile birlikte kullanılmaya başlanmış ve bu konuda önemli bilgilere ulaşılmıştır (Taylor vd., 2007; Bolhuis ve Cretoiu, 2016; Kumar vd., 2019; Spang ve Offre, 2019; Ullah vd., 2019; Catão vd., 2019; Antunes vd., 2019).

Denizel çevrelere organik maddelerin girişi, o organik maddelerin özelliklerine bağlı olarak mikrobiyal parçalanmaya karşı farklılıklar göstermekte ve mikrobiyal popülasyonların (heterotrofik bakteriler, siyanobakteriler mantarlar, mayalar ve hücre dışı enzim üreten mikro algler gibi) süksesyonunu oluşturmaktadır (Pinhassi vd., 1997; Arnosti vd., 2005; Caruso, 2010; La Ferla vd., 2005). Ortamdaki organik substrat ile bakteri popülasyonlarının dağılımı arasında önemli ilişkiler vardır. Bakteriyel popülasyonların bolluğunun, fonksiyonunun ve aktivitesinin belirlenmesi, denizel mikrobiyal ekolojinin temelini oluşturan çalışmalardır. Denizel ortamda bakteri düzeylerinin belirlenmesi için akış spektrofotometrisi, mikroskopik sayımlar, MPN, kültür edilebilir koloni sayım analizleri ve moleküler teknikler gibi çeşitli yöntemler mevcuttur (Böllmann ve Martiensen, 2020; Lebaron vd., 1999). Ribozomal veya genomik DNA'ya dayanan PCR tekniklerin ekolojik çalışmalar için büyük bir dezavantajı elde edilen sonuçların "ölü DNA" (hücre dışı DNA), ölü hücrelerin DNA'sı, canlı fakat kültür edilemeyen hücrelere (VBNC) ait olup olmadığı bilinmemesi ve hücrelerin metabolik olarak aktif olduğunu ayırt edilememesidir. Moleküler yöntemler ile yapılan çalışmalar, bakteri çeşitliliğinin saptanmasında önemli gelişmeler sağlamakla beraber, doğal alanlarda kültür edilebilen bakterilerin bakteriyel biyomas içinde baskın olan türler olduğu diğer bir deyişle süksesyonun ekosistem koşulları ile "temsil edilebilirliği" gösterilmiştir. Bakterilerin sahip olduğu metabolik özellikleri tanımlamak bu nedenle kültür edilebilen formların önemini korumaktadır (Rehnstam vd., 1993; Pinhassi ve Hagström, 1997).

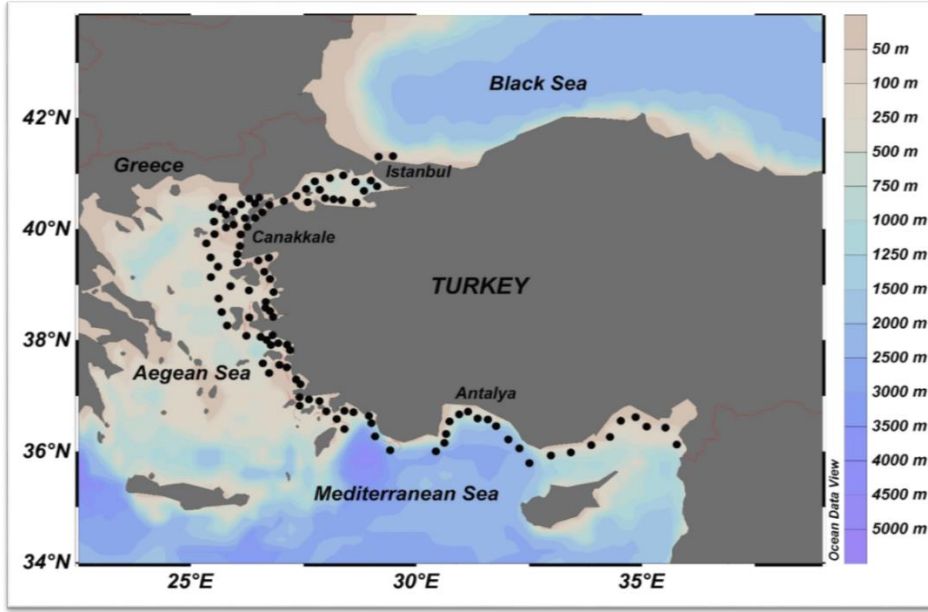
Bakterilerin organik madde döngüsündeki rolleri denizel ekosistemlerin sürdürülebilir işleyişini sağlar ve insan için gerekli temel besin ve ürünleri sunar (Kremen, 2005; Azam ve Malfatti, 2007; Carlson vd., 2007; Gasol vd., 2008). Bakterinin metabolik fonksiyonlarına yönelik çeşitlilik verileri; spesifik bakteriyel metabolik yolları açıklamak, kirlilik karakterini tanımlamak, biyoteknolojik çalışmalara dayanak oluşturacak ve ekosistem işleyişine katkıda bulunacak temel veriler sağlamaktadır. Bu sebeplerle deniz bakteriyolojisi çalışmaları dünyada önem kazanmıştır.

Ülkemizde farklı denizel alanlarda yapılan bakteriyolojik çalışmaların değerlendirildiği verilere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada bakteriyel metabolik aktivite düzeyinin belirlenerek ortama ekolojik olarak katkı sağlayan bakteri düzeyi verilerine ulaşılması amacı ile 2000-2016 yılları arasında Türkiye Denizlerinin farklı alanlarından (Batı Karadeniz, İstanbul Boğazı, Marmara Denizi, Çanakkale Boğazı, Ege Denizi, Akdeniz) toplanan deniz suyu örneklerinden izole edilen bakterilerin substratlara karşı reaksiyonları ve bakteriyel metabolik aktivasyon düzeyleri verileri kullanılarak deniz alanlarının kendi içinde bölgesel bakteriyolojik yapıları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Örneklem alanı

2000-2016 yılları arasında farklı denizel alanlardan (İstanbul Boğazı, Marmara Denizi, Çanakkale Boğazı, Ege Denizi, Akdeniz) Nansen (Hydro-bios, Almanya) örneklem şişesi (%10 HCl ile yıkanmış) ile alınan deniz suyu örnekleri aseptik koşullarda 500 ml kahverengi steril cam şişelere aktarılmıştır. Örneklem Alanları, istasyon sayıları, örneklem derinlikleri ve örneklem sıklıkları Şekil 1 ve Tablo 1 'de detaylandırılmıştır.



Şekil 1. Örneklem Alanları

Tablo 1

Örneklem Alanları ve örneklem dönemleri

Örneklem Alanı	Örneklem Alanı	İstasyon sayısı	Örnek Alınan Derinlik	Örneklem Sıklığı
İstanbul Boğazı	2006-2009	Karadeniz Girişi (1 istasyon)	0-30 cm	Mevsimsel
			10 m	
			20 m	
			50 m	
			0-30 cm	
			10 m	
Marmara Denizi (İstanbul İli Kıyısal Alanı)	2000-2016	33 istasyon	0-30 cm	Mevsimsel
			10 m	
			20 m	
Güney Marmara Denizi	2005-2007	9 istasyon	0-30 cm	Mevsimsel
			25 m	
			50 m	
Çanakkale Boğazı	2006-2009	Boğaz Girişi (1 istasyon)	0-30 cm	Mevsimsel
			10 m	
			20 m	
			40 m	

Örnekleme Alanı	Örnekleme Alanı	İstasyon sayısı	Örnek Alınan Derinlik	Örnekleme Sıklığı
		Boğaz Çıkışı (1 istasyon)	0-30 cm 25 m 50 m	Mevsimsel
Kuzey Ege Denizi	2005-2007	13 istasyon	0-30 cm 10 m 50 m 100 m	Mevsimsel
Gökçeada Çevresi	2012-2013	19 istasyon	0-30 cm	Mevsimsel
Ege Denizi	2012-2013	12 istasyon	0-30 cm 25 cm 50 cm	Mevsimsel
Akdeniz	2007-2008	9 istasyon 13 istasyon	0-30 cm	Mevsimsel

2.2. Kültür Edilebilir Bakteri Analizleri

Örnek alınacak şişenin ve örnekleme şişesinin musluğunun alev altında tutulması ile oluşturulan aseptik şartlar altında alınan deniz suyu örneklerinin uygun dilasyonları yayma plak yöntemi kullanılarak Marine Agar'a (Difco) yayılmıştır. Petri kapları 22 ± 0.1 °C'de 72 saat inkübe edilmiştir. Gelişen koloniler sayılmış ve 100 ml deniz suyu örneğinde koloni oluşturan birim (KOB/100 ml) / heterotrofik aerobik bakteri (HAB) düzeyi olarak kaydedilmiştir (Austin, 1988).

2.3. İzolatların Metabolik Özellikleri

Marine Agar'a yapılan ekim sonrası farklı renk ve morfolojiler gösteren koloniler seçilmiştir. Seçilen kolonilerin her birinin Marine Agar'a ekimleri yapılarak 18 saatlik kültürleri ile saflaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Saf kolonilerin Gram boyama testleri yapılmıştır. Gram boyama yapılan saf koloniler Gram negatif, fermentasyon yapabilen ve fermentasyona yol açmayan basiller (GN), Gram pozitif, kok ve spor oluşturmeyen basiller (GP) ve Gram pozitif, spor oluşturan basiller (BCL) olarak tanımlandıktan sonra VITEK Gram negatif, Pozitif ve Bacilli ticari kartları kullanılarak VITEK 2 COMPACT (bioMerieux, France) mikro tanımlama cihazında analiz edilmiştir. Cihazın tanımlama sisteminde karbon kaynağı kullanma, enzimatik aktivite, inhibisyon ve dirençlilik özellikleri testleri yer almaktadır. Her bir test için belirlenen reaksiyon sonuçları cihazda (-) ve (+) olarak gözükmemektedir (Pincus, 2010).

2.3.1. Gram Negatif Bakterilere Uygulanan Biyokimyasal Testler

ADO: Adonitol; **AGAL:** Alfa-Galaktosidaz; **AGLTp:** Glutamil Arilamidaz pNA; **AGLU:** Alfa-Glikosidaz; **APPA:** Ala-Phe-Pro-Arilamidaz; **BAlap:** Beta-Alanin arilamidaz pNA; **BGAL:** Beta-Galaktosidaz; **BGLU:** Beta-Glikosidaz; **BGUR:** Beta-Glukuronidaz; **BNAG:** Beta-N-Asetil-Glikozaminidaz; **BXYL:** Beta-Ksilosidaz; **CIT:** Sitrat (Sodyum); **CMT:** Kurmarat; **dCEL:** D-Selobiyoz; **dGLU:** D-Glikoz; **dMAL:** D-Maltoz; **dMAN:** D-Manitol; **dMNE:** D-Mannoz; **dSOR:** D-Sorbitol; **dTAG:** D-Tagatoz; **dTRE:** D-Trehaloz; **ELLM:** ELLMAN; **GGAA:** Glu-Gli-Arg-Arilamidaz; **GGT:** Gama-Glutamil-Transferaz; **GlyA:** Glisin Arilamidaz; **H2S:** H2S oluşumu; **ILATk:** L-Laktat alkalileşmesi; **IARL:** L-Arabitol; **IHSa:** L-Histidin asimilasyonu; **ILATa:** L-Laktat asimilasyonu testleri; **IMLTa:** L-Malat asimilasyonu; **LDC:** Lizin Dekarboksilaz; **LIP:** Lipaz; **MNT:** Malonat; **NAGA:** Beta-N-Asetil-Galaktozaminidaz; **O129R:** O/129 Direnci (comp.vibrio.); **ODC:** Ornitin Dekarboksilaz; **OFF:** Fermentasyon/ Glikoz; **PHOS:** Fosfataz; **PLE:** Palatinoz; **ProA:** L-Prolin Arilamidaz; **PyrA:** L-Pirolidonil-Arilamidaz; **SAC:** Sakkaroz/Sükroz; **SUCT:** Sükkinat alkalileşmesi; **TyrA:** Tirosin Arilamidaz; **URE:** Üreaz; **5KG:** 5-Keto-D-Glukonat testleri GN kart kullanılarak yapılan biyokimyasal testlerdir.

2.3.2. Bacili İzolatlara Uygulanan Biyokimyasal Testler

AGAL: Alfa-Galaktosidaz; **AGLU:** Alfa-Glikosidaz; **AlaA:** Alanin ARİLAMİDAZ; **AMAN:** Alfa-Mannosidaz; **APPA:** Ala-Phe-Pro Arilamidaz; **AspA:** L-Aspartat Arilamidaz; **BGAL:** Beta-Galaktosidaz; **BGLU:** Beta-Glikosidaz; **BMAN:** Beta-Mannosidaz; **BNAG:** Beta-N-Asetil-Glikozaminidaz; **BXYL:** Beta-Ksilosidaz; **CDEX:** Siklodekstrin; **dGAL:** D-Galaktoz; **dGLU:** D-Glikoz; **dMAN:** D-Manitol; **dMLZ:** D-Melezitoz; **dmNE:** D-MAnnoz; **dRIB:** D-Riboz; **dTAG:** D-Tagatoz; **dTRE:** D-Trehaloz; **ELLM:** ELLMAN; **ESC:** Eskülin hidrolizi; **GlyA:** Glisin Arilamidaz; **GLYG:** Glikojen; **INO:** myo-İnositol; **INU:** İnulin; **IRHA:** L-Ramnoz; **KAN:** Kanamisin Direnci; **LeuA:** Lösin Arilamidaz; **LysA:** L-Lizin-Arilamidaz; **MdG:** Metil-A-D-Glukopiranosid asitleşmesi; **MdX:** Metil-D-Ksilosid; **MTE:** Maltotrioz; **NaCl 6.5%:** %6,5 NaCl'de çoğalma; **NAG:** N-Asetil-D-Glikozamin; **OLD:** Oleandomisin Direnci; **PHC:** Fosforil Kolin; **PheA:** Fenilalanin Arilamidaz; **PLE:** Palatinoz; **POLYB_R:** Polimiksin_B Direnci; **ProA:** L-Prolin Arilamidaz; **PSCNa:** Putresin asimilasyonu; **PVATE:** Piruvat; **PyrA:** L-Prolidonil-Arilamidaz; **TTZ:** Terazilim Kırmızısı; **TyrA:** Tirosin Arilamidaz testleri BCL kart kullanılarak yapılan biyokimyasal testlerdir.

2.3.3. Gram Pozitif İzolatlara Uygulanan Biyokimyasal Testler

ADH1: Arginin Dihidrolaz 1; **ADH2s:** Arginin Dihidrolaz 2; **AGAL:** Alfa-Galaktosidaz; **AGLU:** Alfa-Glikosidaz; **AlaA:** Alanin Arilamidaz; **AMAN:** Alfa-Mannosidaz; **AMY:** D-Amigdalın; **APPA:** Ala-Phe-Pro Arilamidaz; **AspA:** L-Aspartat Arilamidaz; **BACI:** Basitrasin Direnci; **BGAL:** Beta-Galaktosidaz; **BGAR:** Beta-Galaktopiranosidaz; **BGUR:** Beta-Glukuronidaz; **BGURr:** Beta Glukuronidaz; **CDEX:** Siklodekstrin; **dGAL:** D-Galaktoz; **dmAL:** D-Maltoz; **dMAN:** D-Manitol; **dmNE:** D-Mannoz; **dRAF:** D-Rafinoz; **dRIB:** D-Riboz; **dsOR:** D-Sorbitol; **dTRE:** D-Trehaloz; **dXYL:** D-Ksiloz; **ILATk:** L-Laktat alkalileşmesi; **LAC:** Laktoz; **LeuA:** Lösin Arilamidaz; **MBdG:** Metil-B-D-Glukopiranosid; **NaCl6.5:** %6,5 NaCl'de çoğalma; **NAG:** N-Asetil-D-Glikozamin; **NOVO:** Novobiosin Direnci; **O129R:** O/129 Direnci (comp.vibrio.); **OPTO:** Optokin Direnci; **PHOS:** Fosfataz; **PIPLC:** Fosfatidilinositol Fosfolipaz C; **POLYB:** Polimiksin B Direnci; **ProA:** L-Prolin Arilamidaz; **PUL:** Pullulan; **PyrA:** L-Prolidonil-Arilamidaz; **SAC:** Sakkaroz/Sükroz; **SAL:** Salisin; **TyrA:** Tirosin Arilamidaz; **URE:** Üreaz testleri GP kart kullanılarak yapılan testlerdir.

2.4. Metabolik Olarak Aktif Bakteri Frekansı

Sağlıklı bir hücre yapısını tanımlayan kapsül görünümlü eksopolisakkarit yapıya sahip bakteri sayımı için kullanılacak lamalar önce %70 Etanol, %1 HCl solüsyonu içeren kaplarda 24 saat bekletildikten sonra kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrası lamalar önce ılık (60°C) %0.1 jelatin solüsyonuna ardından %0.01 CrK(SO₄)₂.12H₂O solüsyonuna daldırılmıştır. 0.2 µm por çapına sahip filtrelerden geçirilen deniz suyu örnekleri lamlara ters çevrilerek yerleştirilmiş ve analize kadar (genellikle örnekleme tarihinden sonra 3 hafta içinde) -20 °de saklanmıştır. Analiz sırasında çözdürülen örnekler Congo Red (%0.25) ve Maneval boya ile boyanmış ve mikroskopta kapsüllü/kapsülsüz bakteriler sayılmıştır (Plante ve Shriwer, 1998; Stoderegger vd., 2001).

2.5. Değişken Çevresel Parametreler

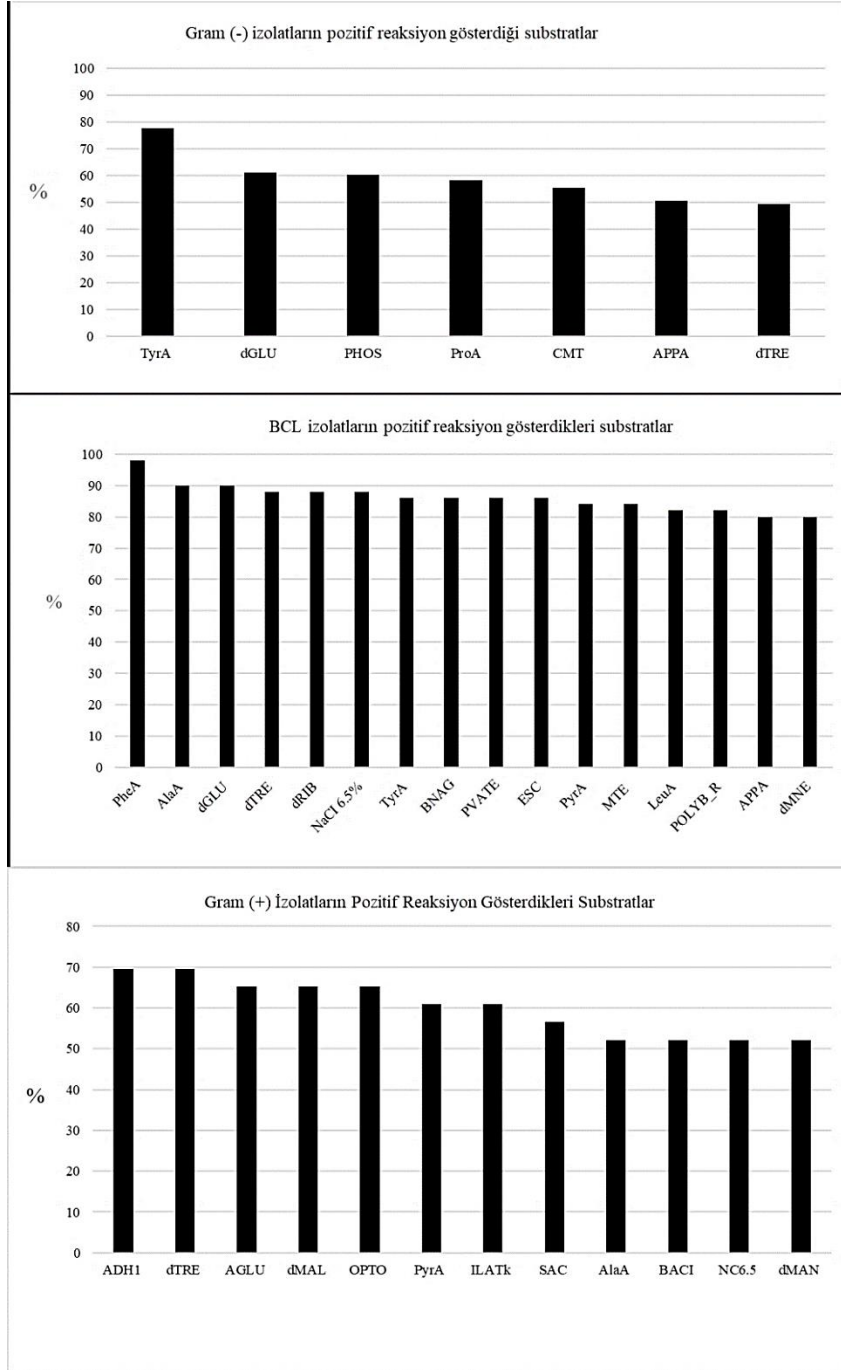
Örnekleme sırasında her istasyona ait değişken çevresel parametreler (sıcaklık, tuzluluk, pH ve doymuş oksijen) yerinde multiparametre (YSI 556) ve CTD (SBE -9 SeaCAT Profiler) ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

2.6. İstatistiksel Analizler

Değişken çevresel parametrelerle metabolik aktif bakteri yüzdesi verileri arasındaki farklılıklar P <0.05 anlamlılık düzeyinde Pearsons korelasyon analizi yapılarak belirlenmiştir. Veri analizleri SPSS yazılım paketi 13.0 kullanılarak yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Gram negatif, Gram pozitif ve Bacilli izolatlarının substratlara karşı %50'nin üzerinde pozitif reaksiyon gösterdikleri biyokimyasal özellikler Şekil 2'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Gram negatif, Gram pozitif ve Bacilli izolatların %50 ve üzerinde pozitif reaksiyon gösterdikleri substratlar

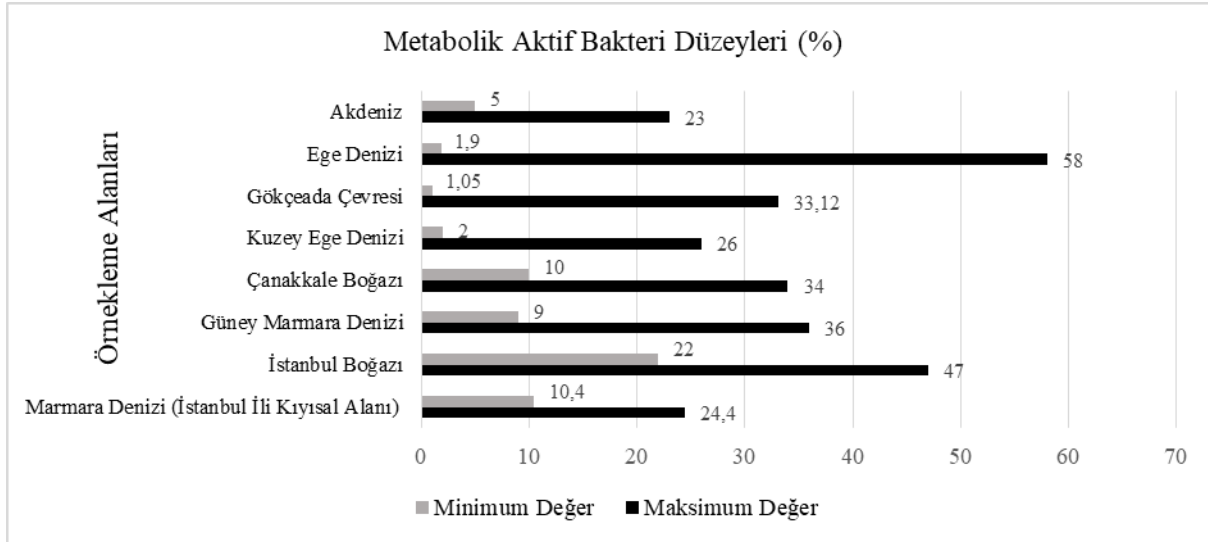
Gram Negatif, Bacilli ve Gram Pozitif bakterilerin tanısı için toplam 90 adet test substratı kullanılmıştır. AGAL, AGLU, APPA, BGAL, dMAL, dMNE, PyrA ve TyrA testleri her bakteri grubu (Gram Negatif, Bacilli ve Gram Pozitif) için uygulanan ortak testlerdir.

Gram Negatif izolatların pozitif reaksiyon gösterdiği substratlar ise, APPA, CMT, dGLU, dTRE, PHOS, ProA ve TyrA olarak 7 adet; BCL izolatların pozitif reaksiyon gösterdikleri substratlar AlaA, APPA, BNAG, dGLU, dMNE, dRIB, dTRE, ESC, LeuA, MTE, NaCl, PheA, POLYB_R, PVATE, PyrA ve TyrA olarak 16 adet ve nihayet Gram Pozitif izolatların reaksiyon gösterdikleri substratlar ise ADH1, AGLU, AlaA, BACI, dMAL, dMAN, dTRE, ILATk, NaCl, OPTO, PyrA ve SAC olarak 12 adettir.

5KG, ADH2s, ADO, AGAL, AGLTp, AMAN, AMY, AspA, Balap, BGAL, BGAR, BGLU, BGUR, BGURe, BMAN, BXYL, CDEX, CIT, dCEL, dGAL, dMLZ, dRAF, dSOR, dTAG, dXYL, ELLM, GGAA, GGT, GylA, GLYG, H2S, IARL, IHISa, ILATa, IMLTa, INO, INU, IRHA, KAN, LAC, LDC, LIP, LysA, MBdG, MdG, MdX, MNT, NAG, NAGA, NOVO, O129R, ODC, OFF, PHC, PIPLC, PLE, POLYB, PSCNa, PUL, SAL, SUCT, TTZ ve URE substratlarında ise her üç grup için reaksiyonlar %50'nin üzerinde gözlenmemiştir.

Trehaloz, bakteri, mantar, bitki ve memelilerden izole edilen, indirgeyici olmayan bir disakkarit glikozdur. Canlılarda karbon kaynağı, karbonhidrat deposu veya stres koruma bileşiği olarak çeşitli amaçlarla kullanılabilir (Wolf vd., 2003). dTRE substratına karşı her üç grupta da %50'nin üzerinde değerde pozitif reaksiyon görülmesi bu durum ile ilişkilendirilmiştir. Tam bir yapı gösteren hasarsız/sağlıklı ve kapsülü özel tekniklerle gözlemlenen bir bakteri hücrelerinin varlığı spesifik çevresel koşullar ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Metabolik olarak aktif bakteri düzeyinin bilinmesi ortamın besin tuzu düzeyleri ve ekolojik işleyişi hakkında bilgi sahibi olmamızı da sağlamaktadır. %50 'nin altında tespit edilen pozitif reaksiyonların ortamda bulunan besin tuzunun miktarı ve çeşitliliği ile ilişkilendirilmiştir.

2000-2016 tarihleri arasında farklı denizel alanlardan deniz suyu örneklerinde tespit edilen metabolik olarak aktif bakteri düzeylerinin maksimum ve minimum değerleri Şekil 3'te özetlenmiştir.



Şekil 3. 2000-2016 yılları arasında farklı denizel alanlarda deniz suyu örneklerinde tespit edilen metabolik olarak aktif bakteri değerleri (%).

En düşük metabolik aktif bakteri frekansı (%1.05) Gökçeada kıyısız alan örneklerinde en yüksek Ege Denizi kıyısız alanında (%58) tespit edilmiştir. Bunu İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi takip etmiştir. Bu çalışma verileri bakteriyel metabolik aktivite düzeyinin yüksek olduğu alanların Gökçeada kıyısız alanından daha fazla kirlilik baskısı altında olduğunu göstermiştir.

Heterotrofik bakterilerin gelişimi için organik besin tuzlarını kullanan ve bu nedenle organik materyalin dağılımının düzenlenmesinde önemli rolleri olan bakteriler olarak tanımlanmakta ve planktonik komitenin en önemli bileşeni olduğu bilinmektedir (Zaccone vd., 2002). Heterotrofik bakteri düzeylerinin bir mililitre deniz suyunda 10^3 ile 10^6 koloni oluşturan birim arasında olduğu rapor edilmiştir (Austin, 1988). 2000-2016 yılları arasında bu çalışma istasyonları ile aynı istasyonlarda yapılan çalışmalarımızda deniz suyundan elde

edilen en yüksek ve en düşük heterotrofik aerobik bakteri bulgularını (Tablo 2) bu çalışma verileri ile ilişkilendirdiğimizde istasyonlara göre heterotrofik bakteri düzeyleri ile metabolik aktif bakteri frekansının benzerlik gösterdiği görülmektedir. Metabolik aktivite oranının yüksek bulunduğu denizel alanların ortamdaki besin elementlerinin artışı ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Yüksek heterotrofik bakteri düzeyleri çalışılan alanın trofik düzeyi ile ilişkilendirilebilir. Bu durum Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'nda besin tuzları girdilerine bağlı olarak toplam aerobik heterotrofik bakteri sayısının diğer istasyonlara göre daha fazla olduğunu, heterotrofik bakteri artışının da, bu çalışmada elde edilen bakteriyel metabolik aktivite verilerinde gösterildiği gibi, aktivite frekansını arttırdığını göstermektedir. Bakteriler sığ ve kıyıya yakın alanlarda, açık deniz alanlarına göre organik madde girdisi nedeni ile gelişmeleri için daha uygun koşulları bulurlar (Pomeroy vd., 1984). Yüzeysel sularında bakteriyel metabolik aktivite düzeyinin sediment üstünden ve 10-20 m arasında alınan deniz suyu örneklerine göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Azam ve Cho., 1987; Heissenberger vd., 1996). Bu çalışmada en yüksek metabolik aktif bakteri düzeyi Ege Denizi ve İstanbul Boğazı örneklemelerinde tespit edilmiştir. Bu sonuçlar turizm faaliyetleri (Ege Denizi), evsel, endüstriyel kirlenme ve gemicilik faaliyetlerinin (İstanbul Boğazı) yoğun olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bu değerlendirmelerin yapıldığı farklı deniz alanlarında tespit ettiğimiz minimum ve maksimum heterotrofik aerobik bakteri (HAB) düzeyleri Tablo 2 de özetlenmiştir.

Tablo 2

Farklı deniz alanlarında tespit edilen minimum ve maksimum heterotrofik aerobik bakteri (HAB) düzeyleri

Örnekleme alanı	HAB Değerleri (Log 10 KOB/100ml)		Referans
	Mak.	Min.	
Akdeniz	7.70	6.48	Altuğ vd., 2010a
Ege Denizi	9.18	3.40	Kalkan ve Altuğ, 2015
Gökçeada Çevresi	7.94	3.84	Türetken Çiftçi ve Altuğ, 2016
Kuzey Ege Denizi	5.88	5.70	Altuğ vd., 2011
Çanakkale Boğazı	5.68	2.76	Çardak vd., 2015
Güney Marmara Denizi	6.40	6.20	Altuğ vd., 2011
İstanbul Boğazı	9.93	6.04	Çardak vd., 2015
Kuzey Marmara (İstanbul İli Kıyısal Alanı)	9.26	4.60	Altuğ vd., 2010a, Altuğ vd., 2012 a,b

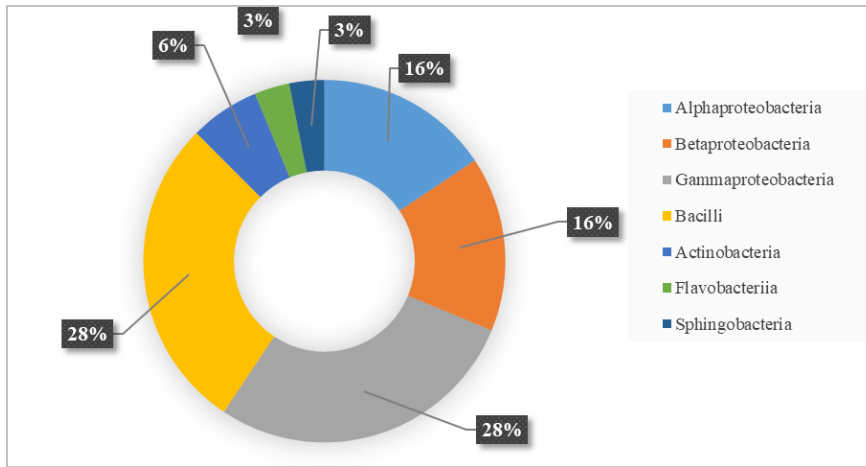
KOB: Koloni Oluşturan Birim, Mak.: Maksimum, Min.: Minimum

2000-2016 yılları arasında gerçekleştirilen ve Tablo 2'de özetlenen veriler içinde en yüksek heterotrofik aerobik bakteri düzeyi 9.93 Log 10 KOB/100 ml olarak İstanbul Boğazı'nda kaydedilirken, en düşük heterotrofik aerobik bakteri sayısı 2.76 Log 10 KOB/100ml olarak Çanakkale Boğazı'nda kaydedilmiştir.

Türkiye Denizlerinin farklı alanlarından izole edilen bakterilerin metabolik özelliklerine yönelik testler (Şekil 2) karbonhidrat metabolizması yüksek bulunan bakteri izolatlarının çoğunlukta olduğunu göstermiştir. Bu bulgular geçmişte yapılan çalışmalarımız ile elde edilen tür kompozisyonu verileri ile değerlendirilmiştir. Tüm alanlarda izolatların %28'i Bacilli ve Gammaproteobacteria sınıfına ait bulunurken bunu %16 ile Alphaproteobacteria ve Betaproteobacteria sınıfı izlemiştir. İzolatların %6'sı Actinobacteria, %3'ü Sphingobacteria ve %3'ü Flavobacteria sınıfına ait bulunmuştur. En sık rastlanan bakteri izolatlarının Enterobacteriaceae (%62) familyasına ait olması çalışma alanlarında evsel ve endüstriyel kaynaklı kirlilik baskısı altında olduğunu göstermiştir. Ayrıca Bacillaceae (%60), Staphylococcaceae (%36) ve

Pseudomonaceae (%21) familyalarına ait türler de sık rastlanan bakteri familyaları olarak kaydedilmiştir (Altuğ vd., 2016). Bakteri izolatlarına ait sınıfların dağılım oranı Şekil 4' te detaylandırılmıştır.

Bacillaceae familyasına ait olan türlerin ağır metallere kirlenmiş alanların iyileştirilmesi, doğal karatenoid ve biyo-ilaçların doğal kaynağı olarak kullanılması gibi önemli biyoteknolojik uygulamalar için potansiyele sahip olduğu bilinmektedir (Gawande vd., 1999; Batra vd., 2002; Narayanan ve Ramana, 2012; Lailaja ve Chandrasekaran, 2013). Staphylococcaceae familyasına ait olan türlerin biyodizel üretimi, antimikrobiyal peptid üretimi, metal iyonlarının degradasyonu ve enzim üretimi gibi alanlarda kullanımı (Ilhan vd., 2004; Mosbah vd., 2005; Kim vd., 2013a; Kim vd., 2013b; Kim vd., 2010; Mosbah vd., 2006) ve Pseudomonaceae familyasına ait türlerin biyosümfaktan ve enzim üretimi, azo boyaların giderimi gibi endüstriyel alanlarda potansiyel kullanımı olduğu bilinmektedir (Benincasa vd., 2002a; Benincasa vd., 2002b; Chang vd., 2001; Yeh ve Chang, 2004).



Şekil 4. Bakteri türlerinin ait oldukları sınıfların yüzde dağılımı (Altuğ vd., 2016)

Denizel ortamlarda bakteri düzeyine etki eden faktörler; güneş ışığı, su sıcaklığı, adsorbsiyon, hidrostatik basınç, virüs ve protozoa tarafından parçalanma, besin eksikliği, besin fazlalığı, mikrobiyal rekabet ve kirlenmelerin muhtemel toksik etkileri olarak özetlenebilir. Bununla birlikte farklı fizikokimyasal ve biyolojik faktörlerin mikroorganizmaların metabolik aktivitelerini ve enzim profillerini düzenlediği kaydedilmiştir (Borrego vd., 1983; Cornax vd., 1990). Deniz ortamında bulunan organik maddelerin farklı fraksiyonlarının farklı bakteriler tarafından parçalandığı bilinmektedir (Fuhrman vd., 1993). Bu durum doğal çevrelerde koşullara göre farklı mikrobiyal süksesyonlardan oluşan dinamik bir yapıya sebep olmakta ve bize "özel çevresel koşullar" ile ilgili "yerli bakteri izolatlarının" belirli davranış ya da yeteneğini tanımlamak ve anlamak için fırsat sunmaktadır.

Çalışmamızda tespit edilen Gram negatif izolatların %78'inin aminoasit olan tirozin yıkımında yer aldığı %61'inin glikozu %60'ının fosfatı parçaladığı, Gram pozitif izolatların ise %70'inin doğal disakkaritleri ve arjinin aminoasidini parçalayabildiği tespit edilmiştir. Bacilli sınıfına ait izolatların %80 - %98 aralığında pozitif reaksiyon verdiği biyokimyasal özellikler izolatların deniz ortamında karbonhidrat ve protein metabolizması ile ilgili yeterli enzim aktivitesinin olduğunu gösterirken, ortamda çözünmüş karbonhidrat miktarının bakteri metabolizması ile ilişkili olduğu göz önüne alınarak organik madde baskısını düşündürmüştür. Bu değerlendirmelerin yapıldığı istasyonlarda tespit edilen çevresel değişken parametrelerin ortalama değerleri aşağıdaki Tablo 3 de özetlenmiştir.

Tablo 3

Farklı deniz alanlarında tespit edilen çevresel değişken parametrelerin ortalama değerleri

Örnekleme alanı	Sıcaklık	Tuzluluk	pH	ÇÖ	Referans
Akdeniz	23.90	30.24	8.16	8.13	Altuğ vd., 2010a
Ege Denizi	23.90	29.32	8.16	8.10	Kalkan ve Altuğ 2015
Gökçeada Çevresi	22.85	35.43	8.19	8.64	Türetken Çiftçi ve Altuğ, 2016
Kuzey Ege Denizi	19.16	35.72	8.91	6.83	Altuğ vd., 2011
Çanakkale Boğazı	15.39	33.73	8.25	8.29	Çardak vd., 2015
Güney Marmara Denizi	15.0	24.5	8.30	8.30	Altuğ vd., 2011
İstanbul Boğazı	14.04	24.77	8.24	3.68	Çardak vd., 2015
Kuzey Marmara (İstanbul İli Kıyısal Alanı)	24.60	26.49	8.29	1.74	Altuğ vd., 2010a, Altuğ vd., 2012 a,b

Değişken çevresel parametreler ile metabolik aktif bakteri yüzdesi verileri arasındaki Pearsons korelasyon analizine ait bulgular Tablo 4 'te verilmiştir. Sıcaklık, tuzluluk ve çözülmüş oksijen değerleri ile metabolik aktif bakteri yüzdesi arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmişken pH değeri ile anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir. Örnekleme alanları ve dönemli farklı olmasına rağmen metabolik aktif bakteri yüzde değerlerinin çevresel parametrelerden etkilenişlerinin benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4

Pearson 's Korelasyon analizi Sonuçları

Örnekleme alanı	Sig. değeri			
	Sıcaklık	Tuzluluk	pH	ÇÖ
Akdeniz	.023	.001	.033	.003
Ege Denizi	.001	.001	.525	.000
Gökçeada Çevresi	.021	.001	.945	.001
Kuzey Ege Denizi	.004	.001	.745	.004
Çanakkale Boğazı	.003	.001	.818	.003
Güney Marmara Denizi	.001	.001	.138	.001
İstanbul Boğazı	.000	.001	.548	.000
Kuzey Marmara (İstanbul İli Kıyısal Alanı)	.002	.001	.345	.002

*. Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır (2-tailed). **. Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır (2-tailed).

4. Sonuçlar

Ülkemizin farklı denizel alanlarında izlenen bölge ve süre için bakterilerin metabolik özelliklerinin substratlara verdikleri cevap dikkate alınarak bakterilerin maruz kaldıkları çevresel koşullar değerlendirilmiştir. Metabolik olarak aktif bakteri düzeylerine yönelik veriler sistem döngülerinde yer alan yani ortama ekolojik olarak katkı sağlayan bakterilerin bilinmesi açısından veriler sağlamıştır. Deniz alanlarımızın bakteriyolojik karakteri farklı açılardan karşılaştırılmış Marmara Denizi, İstanbul Boğazı, Ege Denizinin (Kuzey Ege bölümü hariç) heterotrofik metabolik aktivite ve pozitif enzim reaksiyonları bakımından diğer alanlara göre daha fazla organik maddeye maruz kaldığını göstermiştir. Metabolik aktivitenin yüksek bulunması sistem döngülerine yönelik sağlıklı bakteriyolojik katkının olduğunu göstermiştir. Bu çalışma ile Türkiye Denizleri bakterilerinin bölgelerin kendi içinde sahip olduğu metabolik özellikleri tür kompozisyonu

verileri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiş, deniz alanlarımızın bakteriyel karakterleri coğrafik alanlara göre karşılaştırılarak ekosistem fonksiyonlarına yönelik veriler sağlanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın Güney Marmara ve Kuzey Ege’de gerçekleşen bölümü TÜBİTAK 105Y039, Ege Denizi Güllük Körfezi’nde gerçekleşen bölümü TÜBİTAK 110Y243, İstanbul İli kıyısız alanında gerçekleşen bölümü İstanbul Üniversitesi BAP Birimi BAP-2016-22244 ve Gökçeada çevresinde gerçekleşen bölümü İ.Ü. BAP Birimi 17653 numaralı projelerle desteklenmiştir.

Yazar Katkıları

Gülşen Altuğ: Çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde, örnekleme işlemlerinde, analizlerin değerlendirilmesi ve makale yazımında yer almıştır.

Mine Çardak: Sahada örneklemede çalışmalarında ve bakteriyolojik analizlerde yer almış ve çalışmanın istatistiksel analizlerini yapmıştır.

Pelin S. Çiftçi Türetken: Sahada örneklemede çalışmalarında ve bakteriyolojik analizlerde yer almış makale yazımına katkı sunmuştur.

Sevan Gürün: Sahada örneklemede çalışmalarında ve bakteriyolojik analizlerde yer almıştır.

Samet Kalkan: Sahada örneklemede çalışmalarında ve bakteriyolojik analizlerde yer almıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Altuğ G., Çardak M., Gürün S., Çiftçi P.S. (2010a). Biodiversity of culturable aerobic heterotrophic bacteria in the coastal areas of Syria, Lebanon and the offshore area in the Northern Aegean Sea. The International Conference on Biodiversity of the Aquatic Environment. Towards a Diverse and Sustainable World. Syria. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/263007348_Biodiversity_of_Culturable_Aerobic_Heterotrophic_Bacteria_in_the_Coastal_Areas_of_Syria_Lebanon_and_the_offshore_Area_in_the_Northern_Aegean_Sea
- Altuğ G., Gürün S., Çiftçi Türetken P.S., Hulyar O. (2010b). *Marmara Denizi, İstanbul İli kıyısız alanında patojen bakteriler ve bakteriyolojik kirlilik*. Marmara Denizi 2010 Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 25-26 Eylül 2010, no.32, ss.422-429. Erişim adresi: http://tudav.org/wp-content/uploads/2018/04/content_Marmara_Denizi_2010_Sempozyumu.pdf
- Altuğ G., Aktan Y., Oral M., Topaloğlu B., Dede A., Keskin Ç., İşinibilir M., Çardak M., Çiftçi P.S. (2011). Biodiversity of the northern Aegean Sea and southern part of the Sea of Marmara, Turkey. *Marine Biodiversity Records*, 4, 1-17. <https://doi.org/10.1017/S1755267211000662>
- Altuğ G., Çardak M., Çiftçi P. S. Gürün, S. (2012a). First records and micro-geographical variations of culturable heterotrophic bacteria in an inner sea (the Sea of Marmara) between the Mediterranean and the Black Sea, Turkey. *Turkish Journal of Biology*, 37, 184-90. <https://doi.org/10.3906/biy-1112-21>
- Altuğ G., Gürün S., Çardak M., Çiftçi P. S., Kalkan S. (2012b). The occurrence of pathogenic bacteria in some ships' ballast water incoming from various marine regions to the Sea of Marmara, Turkey. *Marine Environmental Research*, 81, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.08.005>
- Altuğ G., Saraç A., Ergüner B., Yüceltürk B., Yüksel B., Sağiroğlu M.S., ve ark. (2016). *Karadeniz'in oksik, suboksik ve anoksik zonlarının metagenomik örneklerinin mikrobiyal çeşitliliği Sinop, Türkiye*, Türkiye Deniz Bilimleri Kongresi, Ankara, Türkiye, 31 Mayıs - 3 Haziran 2016, ss.98-99.
- Antunes J., Leao P., Vasconcelos V. (2019). Marine biofilms: diversity of communities and of chemical cues. *Environmental Microbiology Reports*, 11(3), 287-305. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12694>
- Arnosti C., Durkin S., Jeffrey W.H. (2005). Patterns of extracellular enzyme activities among pelagic marine microbial communities: implications for cycling of dissolved organic carbon. *Aquatic Microbial*

- Ecology*, 38, 135–45. <http://doi.org/10.3354/ame038135>
- Austin B. (1988). *Marine Microbiology*. Cambridge University Press, Cambridge, 0 521 32252 9.
- Azam, F., Cho, B.C. (1987). *Bacterial utilization of organic matter in the sea*, In: Ecology of microbial communities. (Fletcher M. Ed.) Cambridge University Press, Cambridge, 261–268.
- Azam, F., Malfatti, F. (2007). Microbial structuring of marine ecosystems. *Nature Reviews Microbiology*, 5, 782–791. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1747>
- Batra N., Singh J., Banerjee U.C., Patnaik P.R., Sobti R.C. (2002). Production and characterization of a thermostable β -galactosidase from *Bacillus coagulans* RCS3. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 36, 1–6. <https://doi.org/10.1042/ba20010091>
- Benincasa M., Contiero J., Manresa M.A., Moraes I.O. (2002a). Rhamnolipid production by *Pseudomonas aeruginosa* LBI growing on soapstock as the sole carbon source. *Journal of Food Engineering*, 54, 283–288. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00214-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00214-X)
- Benincasa M., Abalos A., Oliveira I., Manresa A. (2002b). Chemical structure, surface properties and biological activities of the biosurfactant produced by *Pseudomonas aeruginosa* LBI from soapstock. *Antonie van Leeuwenhoek*, 85, 1–8. <https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000020148.45523.41>
- Bolhuis H., Cretoiu M.S. (2016). What is so special about marine microorganisms? Introduction to the marine microbiome-from diversity to biotechnological potential. In: Stal L., Cretoiu M. (eds) *The Marine Microbiome*. Springer, Cham
- Borrego, J.J., Arrabal, A., De Vicente, A., Gomez, L.F., Romero, P. (1983). Study of microbial inactivation in the marine environment. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 55(3), 297–302. Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/pdf/25041851.pdf>
- Böllmann, J., Martienssen, M. (2020). Comparison of different media for the detection of denitrifying and nitrate reducing bacteria in mesotrophic aquatic environments by the most probable number method. *Journal of Microbiological Methods*, 168, 105808. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2019.105808>
- Catão ECP, Pollet T, Misson B, Garnier C, Ghiglione J-F, Barry-Martinet R, Maintenay M, Bressy C and Briand J-F. (2019). Shear Stress as a Major Driver of Marine Biofilm Communities in the NW Mediterranean Sea. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1768. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01768>
- Caruso G. (2010). Leucine aminopeptidase, beta-glucosidase and alkaline phosphatase activity rates and their significance in nutrient cycles in some coastal Mediterranean sites. *Marine Drugs*, 8, 916–940. <https://doi.org/10.3390/md8040916>
- Carlson, C.A., Del Giorgio, P.A., Herndl, G.J. (2007). Microbes and the dissipation of energy and respiration: from cells to ecosystems. *Oceanography*, 20, 89–100. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2007.52>
- Chang J. S., Chou C., Lin Y. C., Lin P. J., Ho J. Y., Hu T. L. (2001). Kinetic characteristics of bacterial azo-dye decolorization by *Pseudomonas luteola*. *Water Research*, 35(12), 2841–2850. [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(00\)00581-9](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(00)00581-9)
- Cornax, R., Morinigo, M.A., Romero, P., Borrego, J.J. (1990). Survival of pathogenic microorganisms in sea water. *Current Microbiology*, 20, 293–298. <https://doi.org/10.1007/BF02091908>
- Çardak M., Altug G., Çiftçi P.S. (2015). Variations of culturable and metabolically active bacteria in a stratified water column: the example of Istanbul and Çanakkale Straits, Turkey. *International Journal of Environmental Research*, 9(4), 1333–1340. <https://doi.org/10.22059/IJER.2015.1025>
- Fuhrman, J.A., McCallum, K., Davis A.L. (1993). Phylogenetic diversity of marine microbial communities from the Atlantic and Pacific oceans. *Applied Environmental Microbiology*, 59, 1294–1302. Erişim adresi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC182080/>
- Gasol J.M., Pinhassi J., Alonso-Saez L., Ducklow H., Herndl G.J., Koblížek M., Labrenz M., Luo Y., Morán X.A.G., Reinthaler T., Simon M. (2008). Towards a better understanding of microbial carbon flux in the sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 53, 21–38. <https://doi.org/10.3354/ame01230>
- Gawande B. N., Goel A., Patkar A. Y., Nene S. N. (1999). Purification and properties of a novel raw starch degrading cyclomaltodextrin glucanotransferase from *Bacillus firmus*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51, 504–509. <https://doi.org/10.1007/s002530051424>
- Heissenberger A., Leppard G.G., Herndl J.G. (1996). Relationship between the intracellular integrity and morphology of the capsular envelope in attached and free-living marine bacteria. *Applied Environmental Microbiology*, 62, 4521–4528. Erişim adresi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1389004/pdf/hw4521.pdf>
- Ilhan S., Nourbakhsh M.N., Kiliçarslan S., Ozdag H. (2004). Removal of Chromium, lead and copper ions from industrial waste waters by *Staphylococcus saprophyticus*. *Turkish Electronic Journal of*

- Biotechnology, 2, 50–57. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/228635777_Removal_of_chromium_lead_and_copper_ions_from_industrial_waste_waters_by_Staphylococcus_saprophyticus
- Kalkan S., Altuğ G. (2015). Bio-indicator bacteria & environmental variables of the coastal zones: The example of the Gulluk Bay, Aegean Sea, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 95, 380–384. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.017>
- Kim P.I., Sohng J. K., Sung C., Joo H.S., Kim E.M., Yamaguchi T., Park D., Kim B.G. (2010). Characterization and structure identification of an antimicrobial peptide homininin, produced by *Staphylococcus hominis* MBBL 2–9. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 399, 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2010.07.024>
- Kim A. H., Kim S., Park S., Kim H. K. (2013a). Biodiesel production using cross-linked *Staphylococcus haemolyticus* lipase immobilized on solid polymeric carriers. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 85-86, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2012.08.012>
- Kim S., Song J. K., Kim H. K. (2013b). Cell surface display of *Staphylococcus haemolyticus* L62 lipase in *Escherichia coli* and its application as a whole cell biocatalyst for biodiesel production. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 97, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2013.07.017>
- Kremen C. (2005). Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology. *Ecology Letters*, 8, 468–79. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x>
- Kumar R., Mishra A., Jha B. (2019). Bacterial community structure and functional diversity in subsurface seawater from the western coastal ecosystem of the Arabian Sea, India. *Gene*, 701, 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2019.02.099>
- La Ferla R., Azzaro, F., Azzaro, M., ve ark. (2005). Microbial processes contribution to carbon biogeochemistry in the Mediterranean sea: spatial and temporal scale variability of activities and biomass. *Journal of Marine System*, 57, 146–166. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.05.001>
- Lailaja V. P., Chandrasekaran M. (2013). Detergent compatible alkaline lipase produced by marine *Bacillus smithii* BTMS 11. *World Journal of Biotechnology*, 29, 1349–1360. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1298-0>
- Lebaron, P., Bernard, L., Baudart, J., Courties, C. (1999). *The ecological role of VBNC cells in the marine environment*, Microbial Biosystems: New Frontiers. Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology Bell CR, Brylinsky M, Johnson-Green P (eds) Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada.
- Mosbah H., Sayari A., Mejdoub H., Dhouib H., Gargouri Y. (2005). Biochemical and molecular characterization of *Staphylococcus xylosus* lipase. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1723, 282– 291. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2005.03.006>
- Mosbah H., Sayari A., Bezzine S., Gargouri Y. (2006). Expression, purification, and characterization of his-tagged *Staphylococcus xylosus* lipase wild-type and its mutant Asp 290 Ala. *Protein Expression and Purification*, 47, 516–523. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2005.11.013>
- Narayanan A., Ramana K.V. (2012). Polyhydroxybutyrate production in *Bacillus mycoides* DFC1 using response surface optimization for physico-chemical process parameters. *3 Biotech*, 2(4), 287–296. <https://doi.org/10.1007/s13205-012-0054-8>
- Pincus D. H. (2010). *Microbial identification using the bioMerieux VITEK 2 system*, *Encyclopedia of Rapid Microbiological Methods*, Michael, J.M., Ed.; PDS/DHI. Erişim adresi: https://store.pda.org/TableOfContents/ERMM_V2_Ch01.pdf
- Pinhassi J., U. L. Zweifel Hagström, Å. (1997). Dominant marine bacterioplankton species found among colony-forming bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 63, 3359–3366. Erişim adresi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC168641/pdf/633359.pdf>
- Plante C.J., Shriwer A.G. (1998). Differential lysis of sedimentary bacteria by *Arenicola marina* L., examination of cell wall structure and exopolymeric capsules as correlates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 229, 35–52. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00039-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00039-2)
- Pomeroy L. R., Hanson R. B., McGillivray P. A., Sherr B. F., Kirchman D., Deibel D. (1984). Microbiology and chemistry of fecal products of pelagic tunicates: rates and fates. *Bulletin of Marine Science*, 35, 426–439. Erişim adresi: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bullmar/1984/00000035/00000003/art00015>
- Rehnstam A.S., Backman S., Smith D.C., Azam F., Hagström A. (1993). Blooms of sequence-specific culturable bacteria in the sea. *FEMS Microbiology Ecology*, 102, 161-166.

<https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1993.tb05806.x>

- Spang A., Offre P. (2019). Towards a systematic understanding of differences between archaeal and bacterial diversity. *Environmental Microbiology Reports*, 11(1), 9–12. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12701>
- Stoderegger K., Herndl G.J. (2001). Visualization of the exopolysaccharide bacterial capsule and its distribution in oceanic environments. *Aquatic Microbial Ecology*, 26, 195–199. <https://doi.org/10.3354/ame026195>
- Taylor M.W., Radax R., Steger D., Wagner M. (2007). Sponge-associated microorganisms: Evolution, ecology, and biotechnological potential. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 71(2), 295–347. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00040-06>
- Türetken Çiftçi P.S., Altuğ G. (2016). Bacterial pollution, activity and heterotrophic diversity of the northern part of the Aegean Sea, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5109-6>
- Ullah R., Yasir M., Bibi F., Abujamel T.S., Hashem A. M., Sohrab S. S., Al-Ansari A., Al-Sofyani A.A., Al-Ghamdi A. K., Al-sieni A., Azhar E. I. (2019). Taxonomic diversity of antimicrobial-resistant bacteria and genes in the Red Sea coast. *Science of The Total Environment*, 677, 474–483. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.283>
- Wolf A., Kramer R., Morbach S. (2003). Three pathways for trehalose metabolism in *Corynebacterium glutamicum* ATCC13032 and their significance in response to osmotic stress. *Molecular Microbiolog.*, 49(4), 1119–1134. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.2003.03625.x>
- Yeh M.S., Chang J. S. (2004). Bacterial decolorization of an azo dye with a natural isolate of *Pseudomonas luteola* and genetically modified *Escherichia coli*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79, 1354–1360. <https://doi.org/10.1002/jctb.1099>
- Zaccone, R., Caruso, G., Cali, C. (2002). Heterotrophic Bacteria in the Northern Adriatic Sea: seasonal changes and ectoenzyme profile. *Marine Environmental Research*, 54, 1–19. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(02\)00089-2](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(02)00089-2)



Sızma Zeytinyağı Fenoliklerinin İnsan Periferik Kan Mononükleer Hücrelerinde Oksidatif Mitokondriyal ve Nükleer DNA Hasarına Karşı Etkisi

Özlem Erol Tınaztepe^{1,*}

¹ Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 03.02.2020
Kabul: 19.08.2020
Yayın: 29.12.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Son yıllarda, zeytinyağının faydalı etkilerinin sadece yüksek oleik asit içeriğiyle ilişkili değil, aynı zamanda içerdiği fenolik bileşenlerin antioksidan aktivitesiyle de ilişkili olduğu kanıtlanmıştır. Bu çalışmada, sızma zeytinyağı fenolik ekstraktının (ZFE), insan periferik kan mononükleer hücrelerinin (PKMH) nükleer ve mitokondriyal DNA'sındaki bazal DNA hasarı ve oksidatif stres kaynaklı DNA hasarı üzerindeki etkisi incelendi. Hücreler, 35 yaşındaki sağlıklı iki erkek ve iki kadın gönüllünün kan örneklerinden izole edildi. Hücrelere diyetle alınabilecek ve sitotoksik etkisi olmayan ZFE konsantrasyonları ile ön-uygulama yapıldı. Hücreler üzerinde oksidatif stres oluşturmak için 30 dakika hidrojen peroksit (H₂O₂, 200 µM) ile uygulama yapıldı. DNA hasarları gene-özümlü QPCR yöntemi ile ölçüldü. Hücrelere ZFE ile ön uygulama yapılması her iki genomdaki bazal DNA hasar seviyesi üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmadı. H₂O₂ ile oluşturulan oksidatif stres, nDNA (nükleer DNA) (1.43 hasar/10kb) ile karşılaştırıldığında mtDNA'da (mitokondriyal DNA) (2.76 hasar/10kb) iki kat daha fazla hasara neden oldu. Bununla birlikte, oksidatif stres öncesi ZFE ile ön-uygulama yapılması hem mtDNA hem de nDNA üzerinde koruyucu etki göstermedi. Sonuçta, sızma zeytinyağı tüketimi sonrası doku ve vasküler sistemde bulunabilecek iki farklı fenolik ekstrakt konsantrasyonunun, insan PKMH'lerde oksidatif DNA hasarlarını önleyici bir etkiye sahip olmadığı belirlendi. Bu sonuçlar, zeytinyağının sindirim sistemi üzerinde daha fazla sahip olduğu bilinen faydalı etkisinin tüketiminden hemen sonraki daha yüksek konsantrasyonlarından kaynaklanabileceğini işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler – Fenolik bileşikler, gene-özümlü QPCR, oksidatif DNA hasarı, oksidatif stres, zeytinyağı

The Effect of Virgin Olive Oil Phenolics Against Oxidative Mitochondrial and Nuclear DNA in Human Peripheral Blood Mononuclear Cells

¹ Vocational School of Health Services, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 03.02.2020
Accepted: 19.08.2020
Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – In recent years, evidence has accumulated that the beneficial effects of olive oil are related to not only its high oleic acid content, but also the antioxidant activity of its phenolic components. This study examined the effect of virgin olive oil phenolic extract (VOPE) on basal and oxidative stress-induced DNA damage within nuclear and mitochondrial genomes of human peripheral blood mononuclear cells (PBMCs). Cells were isolated from the blood samples of the healthy volunteers, 35 year old two male and two female. Cells were pre-treated with VOPE at a dose range that is dietary-relevant and non-cytotoxic. To create oxidative stress, cells were exposed to hydrogen peroxide (H₂O₂, 200 µM) for 30 minutes. The DNA damages were measured by gene-specific QPCR method. Pretreatment with VOPE did not change the level of basal DNA damage in both mitochondrial DNA (mtDNA) and nuclear DNA (nDNA). H₂O₂-induced oxidative stress caused two-fold higher DNA damage in mtDNA (2.76 lesions/10kb) than nDNA (1.43 lesions/10kb). However, VOPE treatment before oxidative stress did not show any protective effects on both mtDNA and nDNA. As a result, two different phenolic extract concentrations that could be found in the tissues and vascular system after virgin olive oil consumption do not have a capacity to prevent oxidative DNA damage in human PBMCs. These results indicate that the beneficial effect of olive oil, which is known to have more on the digestive system, may be due to its higher concentrations immediately after consumption.

Keywords – Phenolic compounds, gene-specific QPCR, oxidative DNA damage, oxidative stress, olive oil

¹ ozlemerol@comu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Zeytinyağı, değerli bir doğal fenolik bileşik kaynağı ve ayrıca Akdeniz diyetinin en önemli bileşenidir. Zeytinyağının antioksidan kapasitesi, yağın fenolik bileşiklerinin miktarı ve içeriği ile yakından ilişkilidir (Gorzynik-Debicka vd., 2018). Bazı çalışmalar, zeytinyağının oksidatif strese karşı koruyucu etkisinin öncelikle doğrudan antioksidan etki yoluyla ve aynı zamanda dolaylı olarak bazı genlerin anlatımının ve bazı antioksidan enzimlerin aktivitesinin düzenlenmesini içeren mekanizmalar yoluyla ortaya çıktığını göstermektedir (Konstantinidou, Covas, Sola, ve Fitó, 2013). Fakat zeytinyağının insan sağlığı üzerindeki faydaları ile ilgili deneysel çalışma sonuçlarına rağmen, zeytinyağı tüketiminin yararlarına dair biyolojik mekanizmalar halen tartışmalıdır (Fitó vd., 2007). Fenolik bileşiklerin hücreleri oksidatif stresin yıkıcı etkilerine karşı koruduğu; ayrıca anti-kanserojen, antihipertansif, antitrombotik, antioksidan ve antienflamatuvar aktivitelere sahip olduğu bilinmektedir (Buckland ve Gonzalez, 2015).

Reaktif oksijen türleri (ROT) vücudumuzda çeşitli endojen süreçlerle ve farklı fizyokimyasal koşullara veya patofizyolojik durumlara maruz kalmanın bir sonucu olarak üretilen, kimyasal olarak reaktif moleküllerdir (Devasagayam vd., 2004). ROT lipidlerde, proteinlerde ve DNA'da oksidatif hasara yol açar. Memeli hücresindeki biri çekirdekte ve diğeri mitokondride bulunan DNA molekülleri, yaşamın sürekliliği için gereklidir. ROT, DNA'da bazsız bölgeler, oksitlenmiş bazlar, tek/çift zincir kırıkları gibi birçok DNA hasarı türüne neden olur (Kryston, Georgiev, Pissis, ve Georgakilas, 2011). Nükleer ve mitokondriyal genomlarda oksidatif hasar birikiminin yaşlanma sürecinde ve yaşa bağlı hastalıkların gelişiminde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir (Jang ve van Remmen, 2009). Ayrıca, DNA hasarları bazı kanserlerin gelişimi ile de yakından ilişkilidir (Bishop vd., 2015).

Zeytinyağının fenolik bileşiklerinin yaşlanma, dejeneratif hastalıklar ve kansere karşı korunmada katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Bulguların çoğu zeytinyağı tüketiminin meme kanseri ve sindirim sistemi kanserleri riskini azaltabileceğini ortaya koymuştur (Buckland ve Gonzalez, 2015). Ancak olası mekanizmalar tam olarak anlaşılabilmiştir. Zeytinyağının koruyucu etkilerinin kanserleşme sürecinin farklı aşamaları ile ilişkili olabileceği kabul edilmektedir (Romani vd., 2019). Önceki çalışmalarda, bazı fenoliklerin ve zeytinyağı ekstraktının nükleer DNA'yı hasara karşı koruyabileceği ileri sürülmüştür (Weinbrenner vd., 2004; Salvini vd., 2006; Fabiani vd., 2008). Ancak bu çalışmaların çoğunda, tek hücreli alkalın jel elektroforezi (COMET analizi) yöntemi kullanılarak sadece nükleer DNA'daki zincir kırıkları ve bazı DNA onarım ürünleri ölçülmüştür.

Zeytinyağı fenolikleri tarafından oksidatif DNA hasarının azaltılması/önlenmesi, zeytinyağının olası kanser önleyici etkisinin altında yatan bir mekanizma olabilir. Bu nedenle, çalışmamızda zeytinyağı fenolik bileşiklerinin normal insan hücrelerinin hem nükleer DNA (nDNA)'sı hem mitokondriyal DNA (mtDNA)'sı üzerindeki potansiyel koruyucu etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Sızma Zeytinyağından Toplam Fenolik Bileşiklerin Ekstraksiyonu

Sızma zeytinyağı, Çanakkale'de yerel bir marketten satın alındı. Toplam fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu, Nosis ve diğerleri (2005) tarafından tarif edilen yöntemle gerçekleştirildi. Elde edilen sızma zeytinyağı fenolik ekstraktı (ZFE), DMSO içerisinde çözündürüldü ve -20 °C'da saklandı. Ekstraktın toplam fenolik içeriği Ragazzi ve Veronese (1973) tarafından tarif edilen yöntem kullanılarak ölçüldü ve fenolik miktarı; kg zeytinyağı başına mg gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edildi.

2.2. Katılımcılar

Bu çalışma Helsinki Bildirgesine uygun olarak yapılmıştır. Çalışmaya; Akdeniz'e özgü diyet ile beslenen, sigara içmeyen, yüksek kolesterol, hipertansiyon öyküsü, diyabet, kanser veya diğer önemli kronik hastalık durumları olmayan, antioksidan, vitamin veya başka bir ilaç kullanmayan sağlıklı 2 erkek ve 2 kadın gönüllü

birey katılımcı olarak dâhil edildi. Çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır.

2.3. İnsan Periferik Kan Mononükleer Hücrelerinin (PKMH) İzolasyonu

PKMH'ler gönüllü bireylerden alınan taze, heparinize edilmiş tam kanlardan ficol-hypaque gradiyent santrifüj yöntemi ile elde edildi ve üç kez fosfat tamponlu tuz çözeltisi (PBS, pH 7.4) ile yıkandı (Gill, 2019). Yeni izole edilmiş PKMH'ler, antibiyotik/antimikotik karışımı [streptomisin (100 µg / ml), penisilin (100 U/ml), amfoterisin B (0.25 µg/ml)] ve %10 (h/h) fetal sığır serumu (FBS) ile zenginleştirilmiş besi ortamında (RPMI 1640) süspansiyon edildi. Hücreler %5 CO₂, %95 hava atmosferi içinde 37 °C'da 1.5 saat adapte olmaları için inkübe edildi. Hücrelerin canlılığı tripan mavisi tekniği ile (>%95 olarak) belirlendi. Hücreler tripan mavisi çözeltisi (%0.4) ile 1:1 (h:h) oranında seyreltildi ve hemositometre ile sayıldı. Hücre yoğunluğu, 2x10⁶ hücre/ml olacak şekilde ayarlandı ve bu hücre süspansiyonu deneyler için kullanıldı.

2.4. PKMH'lere ZFE ve H₂O₂ Uygulaması

PKMH süspansiyonu, %10 FBS ile zenginleştirilmiş besi ortamında ZFE'nin 2 farklı konsantrasyonu (15 µg/ml, 25 µg/ml) ve DMSO (%0.5) ile 37 °C'da 3 saat uygulamaya tabi tutuldu. Hücrelere uygulanan ZFE konsantrasyonu, zeytinyağı tüketimi sonrası doku ve vasküler sistemde bulunabilecek konsantrasyon aralığı referans alınarak seçildi (Rubió vd., 2012). Uygulanan ZFE konsantrasyonlarının hücre canlılığı üzerindeki etkisi tripan mavisi tekniği ile ölçüldü. Herhangi sitotoksik bir etki göstermediği belirlendikten sonra diğer analizler için bu konsantrasyonlar kullanıldı. Hücreler santrifüj (3000 g) ile toplandı ve PBS ile yıkandı. Hücreler üzerinde oksidatif stres oluşturmak için standart inkübasyon koşullarında 30 dakika boyunca 200 µM H₂O₂ ile uygulama yapıldı. H₂O₂, PBS ile seyreltildiği için kontrol olarak PBS kullanıldı (Aebi, 1974). Uygulama süresinin sonunda, hücreler santrifüj ile toplandı ve PBS ile yıkandı. Elde edilen hücre peleti genomik DNA izolasyonunda kullanıldı.

2.5. DNA İzolasyonu

Toplam genomik DNA, üreticinin protokolüne göre PureLink™ Genomik DNA İzolasyon Kiti (Invitrogen, ABD) ile izole edildi. İzole edilen yüksek moleküler ağırlıklı hücresel DNA'ların konsantrasyonları Quant-iT™ dsDNA Yüksek Hassasiyetli Test Kiti ve Qubit™ florimetre (Invitrogen, ABD) kullanılarak ölçüldü.

2.6. DNA Hasarının Belirlenmesi

DNA hasarının belirlenmesinde Erol, Arda ve Erdem (2012) tarafından tarif edilen yöntem kullanıldı. nDNA'da yer alan APEX1 genine ait 2082 bp'lik fragmandaki (aktif olarak transkribe edilir) ve mtDNA'nın 2232 bp'lik fragmanındaki DNA hasarları gene-özümlü QPCR yöntemi ile belirlendi. İnternal kontrol olarak nDNA için 180 bp'lik APEX gen bölgesi, mtDNA için 160 bp bir bölge kullanıldı. Aynı DNA örneğinden 3tekrarlı olarak PCR gerçekleştirildi. PCR ürünleri tris-asetat-EDTA tamponu (pH 8.0) içinde %2 (a/h) yatay agaroz jel üzerinde 45 dakika boyunca elektroforeze tabi tutularak kontrol edildi. PCR ürünlerinin miktarı florometrik olarak ölçüldü (Quant-iT™ dsDNA Yüksek Hassasiyetli Test Kiti®, Invitrogen). Daha sonra hasar frekansını belirlemek istediğimiz dizilerin PCR ürünlerinin miktarları internal kontrollere ait PCR ürünlerinin miktarlarına göre normalize edildi. Öncelikle elde edilen PCR ürünlerinin bağlı miktarı belirlendi ve daha sonra fragman başına ortalama hasar frekansı Poisson denklemi kullanılarak hesaplandı (Furda, Santos, Meyer, ve van Houten, 2014).

2.7. İstatistiksel Analizler

Her deney, 4 donörden 3 kez (n=3) elde edilen PKMH örnekleri kullanılarak tekrarlandı. Deney grupları arasında (GraphPad Prism, San Diego, CA) önemli farklılıklar olup olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve ardışık olarak Tukey testi kullanıldı.

3. Bulgular ve Tartışma

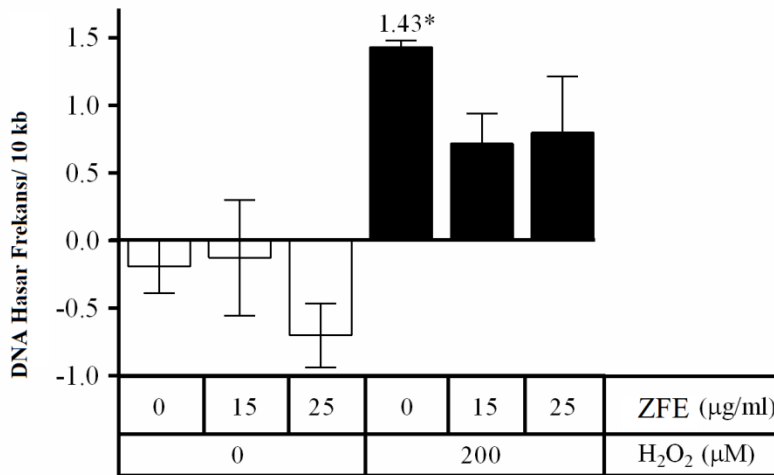
Sızma zeytinyağı, hidroksitirosol, oleosantal ve oleuropein gibi antioksidan fenolik bileşikler bakımından zengindir (Gorzynik-Debicka vd., 2018). Bu çalışmada Folin-Ciocalteu testinden elde edilen sonuçlara göre, kullanılan sızma zeytinyağındaki toplam fenolik bileşiklerin miktarı, zeytinyağının kg başına 104 mg GAE idi. Montedoro ve diğerleri (1992) zeytinyağlarını toplam fenolik içeriğine göre üç gruba ayırmıştır [1. grup (50±200 mg/kg), 2. grup (200±500 mg/kg) ve 3. grup (500±1000 mg/kg)]. Bu çalışmada kullanılmış olan sızma zeytinyağının fenolik içerik bakımından birinci gruba dâhil olduğu görülmektedir.

Zeytinyağı tüketiminin sağlığı geliştirici etkisinin, tüm bileşenlerinin sinerjistik etkisinin bir sonucu olduğu konusunda genel bir düşünce vardır. Bu nedenle, çalışmamızda zeytinyağının toplam fenolik ekstraktının fraksiyonlaması yapılmadan doğrudan etkinliği araştırıldı. Uygulanan ZFE konsantrasyonlarının (15 µg/ml ve 25 µg/ml) hücre canlılığı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olmadığı belirlendi.

H₂O₂ hücrel metabolizma sonucunda üretilir ve metabolizmada önemli roller oynar (Bienert, Schjoerring, Jahn, 2006). Fakat bunun yanında oksidatif strese neden olabilir ve sonuçta DNA da dahil olmak üzere hücrel makromoleküllere zarar vermektedir. Bu nedenle mevcut çalışmada oksidatif stres ajanı olarak H₂O₂ tercih edildi. Hasarlı DNA ürünleri, genellikle besin maddelerinin koruyucu etkisini veya ksenobiyotiklerin genotoksisitesini incelemek için biyobelirteç olarak kullanılır. Hasar frekansı, oksidatif stresin türüne, seviyesine ve diğer bazı faktörlere bağlı olarak değişir (Kryston vd., 2011).

Nükleer ve mitokondriyal genomlar üzerindeki hasarların tespiti için gene-özümlü QPCR yöntemi kullanıldı. Bu yöntem, birçok DNA hasarının Taq DNA polimerazın ilerlemesini yavaşlatabileceğini veya engelleyebileceğini temel alır (Furda vd., 2014).

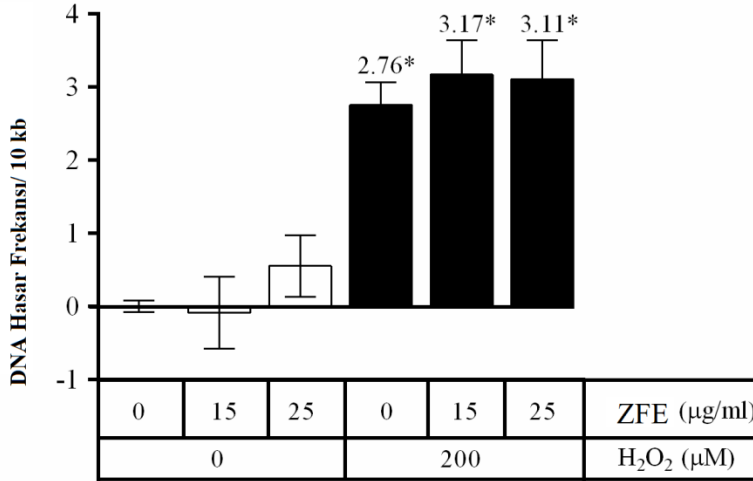
Bu çalışmanın ilk amacı, ZFE'nin PKMH nükleer ve mitokondriyal genomundaki bazal DNA hasarı üzerindeki etkisini değerlendirmektir (Hunter, Jung, Di Giulio, ve Meyer, 2010). Bu kapsamda elde edilen veriler ZFE'nin her iki uygulama konsantrasyonunun hücrelerin bazal nDNA (bkz. Şekil 1) ve mtDNA (bkz. Şekil 2) hasar frekansını etkilemediğini ortaya koydu.



Şekil 1. ZFE ve H₂O₂'in PKMH nDNA'sındaki hasar frekansı üzerine etkileri (* Kontrol grubuna kıyasla p<0.01) (Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir)

Çalışmanın ikinci amacı ise, oksidatif stres altında her iki genomda meydana gelen DNA hasarlarını belirlemektir. Hidrojen peroksit tarafından oluşturulan oksidatif DNA hasarları, QPCR analizi kullanılarak rutin olarak tespit edilmektedir. H₂O₂ (200 µM) uygulamasının hücrelerde oksidatif DNA hasar frekansını önemli ölçüde artırdığı belirlendi (bkz. Şekil 1 ve Şekil 2). Sonuçlarımız, mitokondriyal genomun (1.43 hasar/10 kb) nükleer genoma (2.76 hasar/10kb) göre oksidatif strese belirgin şekilde daha duyarlı olduğunu doğrulamıştır (Erol vd., 2012). mtDNA, oksidatif hasara daha duyarlıdır çünkü mtDNA intron bölgeleri

içermez ve yüksek transkripsiyon seviyesine sahiptir (Cline, 2012). Hücrelerin enerji kaynağı olan mitokondri, homeostaz için çok önemlidir ve apoptotik hücre ölümünde önemli bir rol oynar. Ayrıca mtDNA'daki hasarlar hücrede enerjinin tükenmesine, gen ekspresyonunda değişikliğe ve sonuçta mitokondriyal fonksiyon kaybına yol açar (Cline, 2012). Bu nedenle, yaşlanma ve kronik dejeneratif hastalıklarda nDNA hasarlarından çok mtDNA hasarlarının birikimi daha önemli bir rol oynar. Çalışmamızda ZFE ile ön uygulamanın, oksidatif stresin neden olduğu nDNA hasar düzeyini azaltmaya yönelik bir eğilim oluşturduğu fakat bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlendi (bkz. Şekil 1). mtDNA üzerinde ise ZFE ön uygulamasının herhangi koruyucu bir etkiye sahip olmadığı ve hatta çok küçük miktarda artışa neden olduğu ama bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görüldü (bkz. Şekil 2).



Şekil 2. ZFE ve H₂O₂'in PKMH mtDNA'sındaki hasar frekansı üzerine etkileri (* Kontrol grubuna kıyasla p<0.01) (Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir)

Zeytinyağı fenolik bileşiklerinin DNA hasarına karşı koruyucu etkisine ilişkin, *in vivo* ve *in vitro* çalışmalar çelişkili sonuçlar ortaya koymuştur. Sağlıklı yetişkinlerde diyet, yaşam tarzı ve içsel kaynaklı oksidatif DNA hasarı arasındaki ilişkiyi değerlendiren bir çalışmada, oksidatif DNA hasarı ile sızma zeytinyağı tüketimi arasında bir ilişki bulunmadığı saptanmıştır (Giovannelli vd., 2002). Fakat sık sık taze meyve ve sebze tüketiminin ve yüksek oranda antioksidan alımı (zeytinyağı tüketimi) ile periferik kan hücrelerinin DNA hasar oranı arasında negatif korelasyon olduğu belirlenmiştir (Palli vd., 2000). Diğer bir çalışmada ise COMET testi ile sağlıklı postmenopozal kadınlarda yüksek kaliteli sızma zeytinyağı (592 mg toplam fenolik/kg) alınımının toplam genomik DNA hasarını azalttığı belirlenmiştir (Salvini vd., 2006). Ayrıca, sağlıklı erkeklerde kısa süreli zeytinyağı tüketimi ile DNA onarım ürünü olan 8-okso-dG miktarının idrardaki düzeyinin azaldığı belirlenmiştir (Weinbrenner vd., 2004).

Fabiani ve diğerleri (2008), sızma zeytinyağı fenolik ekstraktının, 40 µM H₂O₂ (30 dak.) uygulamasına karşı PKMH DNA'sını hasardan koruduğunu öne sürmektedir. Bu çalışmada kullanılan fenolik ekstrakt konsantrasyonlarının (~2, ~6, ~10 ve ~20 µg/ml) bizim uyguladığımız konsantrasyonlar ile (15 µg/ml ve 25 µg/ml) benzer olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, fenolik ekstraktın besiyeri ortamına ilave edilmesinden hemen sonra, hücreler 40 µM H₂O₂ ile muamele edilmiştir. Bu nedenle, zeytinyağının fenolik bileşikleri, hücrelerin içine girmeden, ortamda doğrudan antioksidan aktivitesi yoluyla H₂O₂'e karşı koruyucu bir etki sergilemiş olabilir. Ek olarak, bu çalışmada kullanılan H₂O₂ konsantrasyonu 40 µM iken, çalışmamızda uygulanan konsantrasyon 200 µM olup, ZFE uygulaması bu yüksek konsantrasyona karşı koruyucu bir etki gösterememiş olabilir.

4. Sonuçlar

Gerçekleştirilen bu çalışmada, zeytinyağı toplam fenolik ekstraktının uygulanan düşük konsantrasyonlarının insan hücrelerinin hem nDNA hem de mtDNA'sında oksidatif hasara karşı koruyucu bir etkiye sahip olmadığı *in vitro* olarak ilk kez ortaya konulmuştur. Çalışmamız kapsamında uygulanan (doku ve vasküler sistem için olası olan) konsantrasyonların koruyucu bir etki göstermek için düşük olabileceği ve DNA'yı koruyabilecek konsantrasyonların ancak zeytinyağı tüketimi sonrası bağırsaklarda bulunabilecek daha yüksek konsantrasyonlar olabileceği düşünülmektedir (Rubió vd., 2012). Akdeniz diyeti ve zeytinyağının insan sağlığı üzerindeki faydalarını oksidatif stresi azaltmak yanında; oksidatif stres ve kronik dejeneratif hastalıklarla ilişkili genlerin ekspresyonu üzerinde etki göstererek de sağlayabileceğini ortaya koyan kanıtlar mevcuttur (Konstantinidou vd., 2013; Martín-Peláez, Covas, Fitó, Kuşar, ve Pravst, 2013). Bu bakımdan zeytinyağının etkilerinin moleküler mekanizmasının anlaşılabilmesi için; farklı hücre türlerinde fenolik bileşiklerin gen ekspresyonu ve düzenlemesi üzerindeki etkileri araştırılmalıdır.

Yazar Katkıları

Yazar Özlem EROL TINAZTEPE: Çalışmanın tüm aşamalarını gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Kaynaklar

- Aebi, H. (1974). In catalase. In H.U. Bergmeyer (Ed.), *In methods of enzymatic analysis* (pp. 673–684). New York, USA. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/book/9780120913022/methods-of-enzymatic-analysis>
- Bienert, G.P., Schjoerring, J.K. ve Jahn, T.P. (2006). Membrane transport of hydrogen peroxide, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1758, 994–1003. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2006.02.015>
- Bishop, K.S., Erdrich, S., Karunasinghe, N., Han, D.Y., Zhu, S., Jesuthasan A. ve Ferguson L.R. (2015). An investigation into the association between DNA damage and dietary fatty acids in men with prostate cancer. *Nutrients*, 7, 405–422. <https://doi.org/10.3390/nu7010405>
- Buckland, G. ve Gonzalez, C.A. (2015). The role of olive oil in disease prevention: a focus on the recent epidemiological evidence from cohort studies and dietary intervention trials. *British Journal of Nutrition*, 113, 94–101. <https://doi.org/10.1017/S0007114514003936>
- Cline S.D. (2012). Mitochondrial DNA damage and its consequences for mitochondrial gene expression. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1819(9-10), 979–991. <https://doi.org/10.1016/j.bbagr.2012.06.002>
- Devasagayam, T.P., Tilak, J.C., Bloor, K.K., Sane, K.S., Ghaskadbi, S.S. ve Lele, R.D. (2004). Free radicals and antioxidants in human health: current status and future prospects. *The Journal of the Association of Physicians of India*, 52, 794–804. <https://doi.org/10.1016/j.bbagr.2012.06.002>
- Erol, Ö., Arda, N. ve Erdem, G. (2012). Phenols of virgin olive oil protects nuclear DNA against oxidative damage in HeLa cells. *Food and Chemical Toxicology*, 50(10), 3475–3479. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.07.048>
- Fabiani, R., Rosignoli, P., De Bartolomeo, A., Fuccelli, R., Servili, M., Montedoro, G.F. ve Morozzi G. (2008). Oxidative DNA damage is prevented by extracts of olive oil, hydroxytyrosol, and other olive phenolic compounds in human blood mononuclear cells and HL60 cells. *The Journal of Nutrition*, 138(8), 1411–1416. <https://doi.org/10.1093/jn/138.8.1411>
- Fitó, M., de la Torre, R., Farré-Albaladejo, M., Khymenetz, O., Marrugat, J. ve Covas, M.I. (2007). Bioavailability and antioxidant effects of olive oil phenolic compounds in humans: a review. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 43(4), 375–381. <http://old.iss.it/publ/anna/2007/4/434375.pdf>
- Furda, A., Santos, J.H., Meyer, J.N. ve van Houten, B. (2014). Quantitative PCR-based measurement of nuclear and mitochondrial DNA damage and repair in mammalian cells. In P. Keohavong ve S. Grant (Ed.), *Molecular toxicology protocols. Methods in molecular biology (Methods and protocols)* (pp. 419–437). Totowa, NJ. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-739-6_31

- Gill, P.K. (2019). Rapid isolation of peripheral blood mononuclear cells from whole blood with ficoll hypaque density centrifugation. *Journal of International Research in Medical and Pharmaceutical Sciences*, 14(1), 17-20. <https://www.ikprpress.org/index.php/JIRMEPS/article/view/4566>
- Giovannelli, L., Saieva, C., Masala, G., Testa, G., Salvini, S., Pitozzi, V., Riboli, E., Dolara, P. ve Palli, D. (2002). Nutritional and lifestyle determinants of DNA oxidative damage: a study in a mediterranean population. *Carcinogenesis*, 23(9), 1483-1489. <https://doi.org/10.1093/carcin/23.9.1483>
- Gorzynik-Debicka, M., Przychodzen, P., Cappello, F., Kuban-Jankowska, A., Marino Gammazza, A., Knap, N., Wozniak, M. ve Gorska-Ponikowska, M. (2018). Potential health benefits of olive oil and plant polyphenols. *International Journal of Molecular Sciences*, 28: 19(3). <https://doi.org/10.3390/ijms19030686>
- Hunter, S.E., Jung, D., Di Giulio, R.T. ve Meyer, J.N. (2010). The QPCR assay for analysis of mitochondrial DNA damage, repair, and relative copy number. *Methods*, 51(4), 444-451. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2010.01.033>
- Jang, Y.C. ve van Remmen, H. (2009). The mitochondrial theory of aging: insight from transgenic and knockout mouse models. *Experimental Gerontology*, 44(4), 256-260. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2008.12.006>
- Konstantinidou, V., Covas, M.I., Sola, R. ve Fitó, M. (2013). Up-to date knowledge on the in vivo transcriptomic effect of the mediterranean diet in humans. *Molecular Nutrition Food Research*, 57(5), 772-783. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200613>
- Kryston, T.B., Georgiev, A.B., Pissis, P. ve Georgakilas, A.G. (2011). Role of oxidative stress and DNA damage in human carcinogenesis. *Mutation Research*, 711(1-2), 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2010.12.016>
- Martín-Peláez, S., Covas, M.I., Fitó, M., Kušar, A. ve Pravst, I. (2013). Health effects of olive oil polyphenols: recent advances and possibilities for the use of health claims. *Molecular Nutrition Food Research*, 57(5), 760-771. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200421>
- Montedoro, G., Servili, M., Baldioli, M. ve Miniati, E. (1992). Simple and hydrolyzable phenolic compounds in virgin olive oil. 1. Their extraction, separation, and quantitative and semiquantitative evaluation by HPLC. *The Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 1571-1576. <https://doi.org/10.1021/jf00021a019>
- Nousis, L., Doulias, P.T., Aligiannis, N., Bazios, D., Agalias, A., Galaris, D. ve Mitakou, S. (2005). DNA protecting and genotoxic effects of olive oil related components in cells exposed to hydrogen peroxide. *Free Radical Research*, 39(7), 787-795. <https://doi.org/10.1080/10715760500045806>
- Palli, D., Vineis, P., Russo, A., Berrino, F., Krogh, V., Masala, G., Munnia, A., Panico, S., Taioli, E., Tumino, R., Garte, S. ve Peluso, M. (2000). Diet, metabolic polymorphisms and DNA adducts: the epic-Italy cross-sectional study. *The International Journal of Cancer*, 87, 444-451. [https://doi.org/10.1002/1097-0215\(20000801\)87:3<444::AID-IJC21>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/1097-0215(20000801)87:3<444::AID-IJC21>3.0.CO;2-%23)
- Ragazzi, E. ve Veronese, G. (1973). Quantitative analysis of phenolic compounds after thin-layer chromatographic separation, *Journal of Chromatography*, 77(2), 369-375. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)92204-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)92204-0)
- Romani, A., Ieri, F., Urciuoli, S., Noce, A., Marrone, G., Nediani, C. ve Bernini, R. (2019). Health effects of phenolic compounds found in extra-virgin olive oil, by-products, and leaf of *Olea europaea* L. *Nutrients*, 11(8). pii: E1776. <https://doi.org/10.3390/nu11081776>
- Rubió, L., Valls, R.M., MacIà, A., Pedre, A., Giralt, M., Romero, M.P., De La Torre, R., Covas, M.I., Solà, R. ve Motilva, M.J. (2012). Impact of olive oil phenolic concentration on human plasmatic phenolic metabolites. *Food Chemistry*, 135(4), 2922-2929. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.085>
- Salvini, S., Sera, F., Caruso, D., Giovannelli, L., Visioli, F., Saieva, C., Masala, G., Ceroti, M., Giovacchini, V., Pitozzi, V., Galli, C., Romani, A., Mulinacci, N., Bortolomeazzi, R., Dolara, P. ve Palli D. (2006). Daily consumption of a high-phenol extra-virgin olive oil reduces oxidative DNA damage in postmenopausal women. *British Journal of Nutrition*, 95(4), 742-751. <https://doi.org/10.1079/BJN20051674>
- Weinbrenner, T., Fitó, M., de la Torre, R., Saez, G.T., Rijken, P., Tormos, C., Coolen, S., Albaladejo, M.F., Abanades, S., Schroder, H., Marrugat, J. ve Covas, M.I. (2004). Olive oils high in phenolic compounds

modulate oxidative/antioxidative status in men. *The Journal of Nutrition*, 134(9), 2314-2321.
<https://doi.org/10.1093/jn/134.9.2314>



Betonların Elastik Modül Hesabında Poisson Oranının Önemi

Nevbahar EKİN^{1,*}

¹Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 17.02.2020
Kabul: 02.09.2020
Yayın: 29.12.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Betonarme yapıların tasarımında elastik parametreler hesaplanırken betonun esneme direnci ve sağlamlığını göstermesi açısından elastisite modülünün; makaslama direncine karşı betonun gösterdiği mukavemet açısından kayma modülünün ve özellikle betonun suya doygunluk derecesinin belirlenmesi açısından ise Poisson oranının doğru bir şekilde tanımlanması oldukça önemlidir. Betonun elastik parametrelerinin hesaplamaları ulusal veya uluslararası standartlarda bazı kabullere göre yapılırken, dinamik yöntemlerle tahribatsız bir şekilde belirlenen P ve S dalga hızlarından da bu elastik parametreler hesaplanabilmektedir. Bu kapsamda, dinamik yöntemle belirlenen Poisson oran değerleri değişkenlik gösterirken, standartlardaki gibi Poisson oranının 0.20 şeklinde sabit bir değer alınmasının elastik parametre hesaplamalarındaki avantaj ve dezavantajlarının ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, dayanımları farklı 12 beton tasarımına ait 108 adet 150x150x150 mm³ ebatlarındaki küp numuneler hazırlanarak P ve S dalga hızları ile Tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiştir. Daha sonra, dinamik yöntemlerden elde edilen parametreler kullanılarak hesaplanan elastik parametreler Poisson oranının sabit alınması ile elde edilen parametreler ile karşılaştırılmıştır. Belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar, beton dayanımı ve zamana bağlı olarak elastik parametrelerin değişimini ortaya koymuştur. Ayrıca, Poisson oranının sabit ya da dinamik yöntemle belirlendiği şekilde değişken olması arasındaki değişimin elastisite ve kayma modülüne etkisi incelenmiştir. Buna göre, Poisson oranının hesaplamalarda sabit bir değer olarak alınması doğru değildir.

Anahtar Kelimeler – Poisson oranı, beton, elastisite modülü, kayma modülü, P ve S dalga hızları

The Importance of Poisson Ratio in the Calculation of Elastic Modulus of Concrete

¹Department of Geophysical Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

Article History

Received: 17.02.2020
Accepted: 02.09.2020
Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – When calculating elastic parameters in design of reinforced concrete structures, it is very important to correctly define elasticity modulus in terms of showing concrete flexibility resistance and strength; shear modulus in terms of the resistance of concrete against shear resistance; and especially the Poisson ratio in terms of determining the degree of water saturation of concrete. While the calculations of the elastic parameters of concrete are made according to some assumptions at national or international standards, these elastic parameters can be calculated from the P and S wave velocities determined non-destructively by dynamic methods. In this context, while Poisson ratio values determined by dynamic method are variable, it is aimed to reveal advantages and disadvantages of Poisson ratio in elastic parameter calculations obtained by obtaining a fixed value of 0.20 as in the standards. For this purpose, 108 samples of 150x150x150mm³ cubes of 12 concrete designs with different strengths were prepared and P and S wave velocities and uniaxial compressive strengths were determined. Then, elastic parameters calculated using parameters obtained from dynamic methods were compared with parameters obtained by taking Poisson ratio constant. The results obtained from measurements made in certain time intervals revealed change of elastic parameters depending on concrete strength and time. In addition, effect of change between Poisson ratio being constant or being variable as determined by dynamic method on elasticity and shear modulus was investigated. Accordingly, it is not correct to take Poisson ratio as a fixed value in calculations.

Keywords – Poisson ratio, concrete, elasticity module, shear module, P and S wave velocities

¹ nevbaharsabbag@sdu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Poisson oranı ile elastisite ve kayma modülü gibi betonun elastik parametreleri betonarme yapıların mühendislik tasarımı ve analizinde öncelikli olarak kullanılan parametrelerdir. Bu parametreler statik veya dinamik yöntemlerle belirlenebilmektedir (Fei vd., 2016). Basınç altındaki bir beton numunesinin deformasyonu ölçülerek statik elastik parametreler, beton içerisinde yayılan elastik dalgalar kullanılarak ise dinamik elastik parametreler belirlenmektedir. Ancak statik testlerde, sıkıştırma kuvvetleri numunenin hacminde bir azalmaya neden olan deformasyonlar üretirken, dinamik testler çok az deformasyona neden olmakta veya hiç deformasyona neden olmamaktadır (Anson ve Newman, 1966; Öziçer ve Uyanık, 2017; Ahmed, 2018; Sabbağ ve Uyanık, 2018a). Mühendislik hesaplamalarda genellikle statik elastik parametreler kullanılmaktadır. Bu nedenle betonarme yapının güvenilir bir şekilde değerlendirilmesinde statik ve dinamik mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi belirlemek oldukça önemlidir. Ancak, statik testlerde iyi sonuçlar elde edilebilmesi için çalışılan alandan karot numune alınması, özel test aparatlarının kullanılması ve ileri teknoloji gerekmektedir (Hongkui vd., 2001). Dinamik yöntemler ise basit, hızlı ve daha ekonomik olması nedeniyle oldukça avantajlıdır. Ayrıca, sismik hızların numune şeklinden etkilenmemesi nedeniyle küp ve silindirik numunelerde veya yerinde ölçü alınabilme imkânına da sahiptir (Uyanık vd., 2011; Uyanık vd., 2012; Uyanık vd., 2013; Uyanık, 2012; Uyanık ve Tezcan, 2012; Öziçer ve Uyanık, 2017). Ek olarak, aynı numune üzerinde tekrarlı ölçümler alınarak zamana bağlı bu parametrelerdeki değişimin takip edilebilmesi açısından da oldukça avantajlıdır.

Laboratuvarda veya yerinde ölçü alınma olanağı sağlayan dinamik ultrasonik yöntem, P ve S dalga hızlarının beton içerisinde geçiş sürelerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Sabbağ ve Uyanık, 2016; Sabbağ ve Uyanık, 2017; Özçelik ve Gelişli, 2018; Sabbağ ve Uyanık, 2018b; Uyanı vd., 2019). Bu iki hızın bir arada kullanılması ile dinamik elastik parametreler ve Poisson oranı kolaylıkla belirlenebilmektedir. Ancak, statik yöntemlerle hesaplanan elastisite modülü homojen malzemeler için geçerli olduğundan dolayı, dinamik yöntemlerle hesaplanan değerlerden farklılıklarının olduğu bilinmektedir (Krech vd., 1974; Eissa ve Kazi, 1988; Atıcı ve Yünsel, 2011). Aynı durumun Poisson oranı içinde geçerli olması beklenmektedir (Gerçek, 2004; Atıcı ve Yünsel, 2011). Çünkü, dinamik Poisson oranı deneysel olarak belirlenirken uygulanan testlerin fiziksel durumu statik yüklemekten tamamen farklıdır. Statik ve/veya dinamik Poisson oranlarının kayma veya betonlarda belirlenmesi üzerine birçok araştırma yapılmıştır (Naus, 2006; Atıcı ve Yünsel, 2011; Kodur, 2014; Akkaya vd., 2017; Kee vd., 2019). Genellikle her iki yöntemle belirlenen Poisson oranları arasında belirgin bir ilişki gözlenmemiştir (Elsadig vd, 2014). Araştırmacılara göre, dinamik olarak belirlenen Poisson oranının, statik testlerden belirlenen orandan biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Brooks, 2015).

Çoğunlukla yol, tünel ve baraj gibi yapıların sayısal gerilme analizlerinde kullanılan Poisson oranı malzemenin elastik özelliklerini etkilemektedir (Timoshenko, 1970; Akkaya vd., 2017). Çok çeşitli agregalar kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda, normal ağırlıklı betonlarda statik Poisson oranının 0.18 (mermer agregalı) ve 0.36 (yuvarlak kuvars agregalı) arasında değiştiği belirlenmiştir (Brooks, 2015). Doğrusal bir elastik ve izotropik malzeme için Poisson'un oranı sabittir, ancak betonda Poisson oranı bazı özel koşullardan etkilenmektedir. Lydon ve Balendran (1986), sıkıştırma yükü altındaki gerilme ölçümlerinden belirlendiğinde betonun Poisson oranının 0.15 ile 0.22 arasında olduğunu gözlemlemişlerdir. Benzer Poisson oranı aralığı gerilme yükü altında da elde edilmiştir. Chao (2002) ve Wang (2004), çimentolu malzemelerdeki Poisson oran değerlerinin genel olarak 0.15 ile 0.3 arasında değiştiğini, Klink (1985) ise bu oranın 0.20-0.37 aralığında değiştiğini belirtmiştir. Yapısal beton tasarımı için BS EN 1992-1-1 (2004) standartlarında, çatlak içermeyen beton için Poisson oranının 0.2 ve çatlaklı beton için ise sıfır olması önerilmiştir. TSE standartlarında da beton için yine bu oran değeri 0.20 olarak kabul edilmektedir (TS ISO 1920-10, 2015).

Bu kapsamda yapılan çalışmada, farklı mukavemet özellikleri gösteren beton numuneler üzerinde, dinamik Poisson oranının sabit (tüm dayanım değerleri için 0.20 gibi bir değer) alınması veya değişken (ultrasonik yöntemle hız oranları kullanılarak hesaplanan gerçek değerler) alınmasının elastik modüller üzerindeki etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Her iki durum için ayrı ayrı elastisite ve kayma modülleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular karşılaştırılarak Poisson oranındaki farklılığa göre elastik modüllerdeki görecel hata miktarı dayanım (düşük, orta veya yüksek) türüne ve kür süresine bağlı olarak tanımlanmıştır. Düşük, orta ve yüksek dayanımdaki beton numuneleri kullanılarak geniş bir yelpazede hazırlanan bu çalışma, mühendislik hesaplamalarında oldukça önemli olan elastik parametre hesaplamalarının her iki durumda elde edilen sonuçlara göre aralarında oluşan farkı ortaya koyması açısından önemlidir. Ayrıca, Poisson oran değerinin

sabit alınmasının hatalı sonuçlar üretebileceği düşünülerek yapılan bu çalışma, standartların hazırlanmasında ve yapılacak bilimsel çalışmalarda bu durumun göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymuştur.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında, dayanımları farklı 12 beton tasarımına ait 108 adet 150x150x150mm ebatlarındaki küp numune hazırlanarak yoğunluklarının yanı sıra dinamik ultrasonik yöntemle P ve S dalga hızları ve tek eksenli basınç testi ile dayanımları belirlenmiştir. Ardından, sabit ve değişken Poisson oranlarının alınması ile elastik parametreler hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

2.1. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada, agrega türü olarak kırmataş agrega (%25 iri kırmataş, %23 orta kırmataş, %52 kum) ile birlikte Portland kompoze çimento (CEM II/B-LL), kimyasal katkıları (süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici) ve içilebilir su kullanılarak farklı dayanım özellikleri gösteren 12 farklı beton tasarımı (2.3-69.7MPa) hazırlanmıştır. Çok sayıda tasarım olduğu için makalede sadece 3 tane tasarıma ait parametreler Tablo 1’de gösterilmiştir. Her tasarımdan 9’ar adet numune olmak üzere toplamda 108 adet numune üzerinde ölçümler yapılmıştır. 3., 7. ve 28. günlerde ağırlık ve yoğunlukları belirlenen küp şeklindeki betonların üzerinde ultrasonik P ve S dalga ölçümleri yapıldıktan sonra her bir tasarımdaki 3’er tane numunenin tek eksenli basınç deneyi sonucunda dayanım değerleri belirlenerek ortalamaları alınmıştır. Numuneler ölçümlerinin yapılacağı zamana kadar laboratuvarında 20±2°C’deki kür havuzlarında bekletilmiştir.

Tablo 1

Çalışma kapsamında hazırlanan beton tasarımlarına ait örnek karışım oranları

Ölçülen Parametreler	40 dm ³ için kullanılan miktarlar (kg)		
	Düşük Dayanımlı Tasarım (T1)	Orta Dayanımlı Tasarım (T4)	Yüksek Dayanımlı Tasarım (T10)
Çimento (CEM II/B-LL)	3.2	8.0	32.0
Su (lt)	6.496	6.930	9.780
Su/çimento oranı (w/c)	2.03	0.87	0.31
Agrega (İri çakıl)	20.665	19.583	14.172
Agrega (Orta çakıl)	12.019	18.016	13.038
Agrega (Kum)	42.983	40.732	29.478
Kimyasal Katkı (Süper akışkanlaştırıcı)	48 g	120 g	480 g
Kimyasal Katkı (Hava sürükleyici)	3.2 g	8 g	32 g
Slump (Çökme)	12 cm	12.5 cm	12 cm
Hava	% 3.4	%4.6	%3.4

2.2. Ultrasonik Yöntem

Yapılan çalışmada, OYO SonicViewer SX (XP) cihazı yardımı ile 3., 7. ve 28. günlerde Ultrasonik ölçümler yapılmıştır. Yöntem uygulanırken, sırasıyla 200 kHz ve 100 kHz frekanslarına sahip P ve S problemleri arasında sıkıştırılan 150x150x150 mm ebatlarında küp şeklindeki numunelere P ya da S dalga darbesi gönderilerek karşılıklı ölçüm yöntemiyle numunenin P ya da S dalga seyahat zamanları ölçülmüştür. Ultrasonik cihazı ile ölçüme başlamadan önce cihazda P ve S dalgaları için ayrı ayrı sıfır ayarı yapılmalıdır. Böylece, elektrik pulsunun alınışı ile bunun bir sismik pulsa çevrilmesi işlemi esnasında ortaya çıkan gecikme giderilmektedir. Sıfır ayarı bittikten sonra dalgaların ölçümüne geçilebilmektedir. Numune yüzeyinin düzgün ve pürüzsüz olması da ölçümü etkileyen önemli faktörlerden biridir. Ultrasonik enerji hava boşluğu tarafından gecikmeye uğramaktadır. Bu yüzden numune ile alıcı-verici problemler arasında çok iyi bir iletimin sağlanması gereklidir. İletimin tam olarak sağlanabilmesi için P dalga ölçümlerinde gres yağı vb. iletimi artırıcı maddeler kullanılırken, S dalgası sadece katılarda yayıldığı için ölçümde bu gibi maddeler kullanılmamaktadır. Numune boyunun seyahat süresine oranlanması ile P ve S dalga hızları belirlenmiştir. Bu hızlar kullanılarak ilgili bağıntılar vasıtasıyla elastik modüller hesaplanmıştır.

2.3. Tek Eksenli Basınç Dayanım Testi

Hazırlanan küp şeklindeki suya doymun beton numuneler TS EN 12390-2 standardına göre ve her tasarımdan 3'er adet olmak üzere 3., 7. ve 28. günlerde, Form + Test Alpha marka tek eksenli basınç cihazı vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmıştır. Daha sonra elde edilen dayanım değerlerinin ortalamaları alınarak her bir tasarımın dayanım değeri belirlenmiştir. Numunelere uygulanan yükleme hızı TS EN 12390-3'e uygun olarak ortalama 13.5 kN/s (0.6 ± 0.2 MPa/s) olarak belirlenmiştir.

2.4. Poisson Oranına Bağlı Elastik Modüllerin Değişimi

Poisson oranı çoğu mühendislik alanında malzeme yapısının ortaya konulması amacıyla kullanılan parametrelerden biridir (Uyanık ve Ulugergerli, 2008; Uyanık, 2015; Akkaya vd., 2017). Bu oran özellikle betonun suya doygunluk derecesinin belirlenmesi açısından önemli bir parametredir ve bu nedenle betonun gözeneklerini yorumlamada kullanılabilir. Poisson oranı statik ve dinamik yöntemler kullanılarak belirlenebilir. Statik Poisson oranı (μ_s) pratikte tek eksenli basınç dayanım testi ile belirlenmektedir. Betonun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan temel deneylerden biri olan tek eksenli basınç dayanım testi sırasında hidrolik prese bağlanan elektro balans yardımıyla numuneye yük uygulandığında oluşan enine ve boyuna birim deformasyon değerleri belirlenmektedir (TS ISO 1920-10, 2015). Geleneksel bir üç eksenli basınç testinde ise, karot numunesi, sabit basınç altında eksenel olarak cihaza yerleştirilmektedir. Kavramsal olarak, eksenel gerilmenin tepe değeri numunenin basınç dayanım sınırı olarak alınmaktadır. Eksenel gerilmeye ek olarak, bu test sırasında temel elastik sabitleri belirlemek amacıyla eksenel ve radyal gerilmeler de görüntülenebilmektedir. Eksenel ve radyal gerilmeler, konsol tipi gerilim dönüştürücüleri kullanılarak ölçülmektedir (Elsadig vd., 2014). Statik Poisson oranı, yük uygulanan beton numunesinde oluşan enine birim deformasyonun, boyuna birim deformasyona oranından hesaplanmaktadır.

$$\mu_s = \frac{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)} \quad (2.1)$$

Burada, $\frac{\Delta a}{a}$: enine deformasyon ; $\frac{\Delta L}{L}$: boyuna deformasyonu göstermektedir.

Dinamik Poisson oranı (μ_d) ise tahribatsız bir şekilde dinamik yöntemlerden olan ultrasonik yöntemle belirlenen P (V_p) ve S (V_s) dalga hızlarının oranından hesaplanabilmektedir.

$$\mu_d = \left[\frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2} \right] \quad (2.2)$$

Betonlarda Poisson oran değerinin sifira yakın olması sıklığı ve kompaktlığı, 0.5 e yakın değerler ise gözeneklerin suya doygunluğunu göstermektedir. Bu oran, izotrop malzemelerde [-1, 0.5] arasında değerler alabilmekte ve 0.5 değerine yaklaştıkça suya doygunluğu artmakta, sıkıştırılabilirliği azalmaktadır (Green ve Zerna, 2012). Sıvıların Poisson oranı teorik olarak 0.5'tir. Çünkü sıvılar sıkıştırılmazlar. Bu nedenle hiçbir katı malzemenin Poisson oranı 0.5 olamamaktadır. Çoğu elastik katılar için bu oranın ortalama değeri 0.25 civarındadır.

Poisson oranına bağlı olarak dinamik Elastisite (E_d) ve kayma modülü (G_d) ise Eşitlik 2.3 ve 2.4'te tanımlanmıştır.

$$E_d = \frac{(1+\mu_d)(1-2\mu_d)}{(1-\mu_d)} \gamma V_p^2 \quad (2.3)$$

$$G_d = \frac{E}{2(1+\mu_d)} \quad (2.4)$$

Burada, γ : yoğunluktur (gr/cm^3). Yoğunluk değerinin bilinmediği durumlarda P ve S dalga hızlarından Uyanık ve Çatlıoğlu (2015) ilişkisi kullanılarak hesaplanabilir. Elastisite modülünün yüksek olması malzemenin rijit olduğu ya da uygulanan bir gerilme sonucu oluşan elastik birim şekil değişiminin küçük olacağı anlamına gelmektedir. Beton karışımında kullanılan agrega özellikleri, hidrasyon ısı, çimento hamurunun gözenekliliği ve kür koşulları elastisite modülünü etkilemektedir.

Yapılan çalışmada, mühendislik yapılarının analizlerinde kullanılan Poisson oranının ulusal ve uluslararası standartlardaki statik elastik parametre hesaplarında da belirtildiği şekilde sabit alınmasının doğru olup olmayacağı tartışılmıştır. Bu kapsamda, düşük, orta veya yüksek mukavemet özellikleri gösteren 12 tasarım için dinamik Poisson oranının 0.20 gibi sabit bir değer alması veya sismik hız oranlarından hesaplandığı şekilde değişken (0.14-0.34) değerler alması durumundaki elastik modüllerin değişimi incelenerek karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Hazırlanan beton numunelerinin zamana bağlı ortalama P ve S dalga hızları, hız oranı (V_p/V_s), Poisson oranı, dayanım ve yoğunluk değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Teller (1956) Poisson oran değerini ortalama olarak 0.24 bulmuştur. Leslie ve Cheesman (1949) ise, betonlardaki kırık ve çatlak durumunu gözlemlemek amacıyla yaptıkları çalışmada yoğunluğu 2.24 gr/cm^3 ’ü aşan betonlar için 0.24 Poisson oran değerini kullanarak ultrasonik hızın daha düşük olduğu bölgelerde kırık ya da çatlak varlığından söz edilebileceğini ortaya koymuştur. Yapılan bu çalışmada ise, dayanımları yaklaşık olarak 2-70 MPa ve yoğunlukları $2.07\text{-}2.39 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişen suya doymuş betonlar bir arada değerlendirildiğinde dinamik Poisson oranlarının 0.14-0.34 aralığında değiştiği ve ortalama olarak 0.30 değerini aldığı belirlenmiştir.

Tablo 2

Hazırlanan 12 beton tasarımına ait zamana bağlı ortalama P ve S dalga hızları, Poisson oranı, dayanım ve yoğunluk değerleri

Zaman	V_p (m/s)	V_s (m/s)	V_p/V_s oranı	Dinamik Poisson oranı (μ_d)	Dayanım (MPa)	Yoğunluk (γ) (gr/cm^3)
3. gün	2694-4668	1589-2374	1.54-2.01	0.14-0.34	2.3-57.0	2.07-2.33
7. gün	2525-4787	1627-2645	1.59-2.03	0.17-0.34	2.5-62.9	2.09-2.39
28. gün	3461-4852	1810-2459	1.81-1.94	0.28-0.32	3.5-69.7	2.09-2.39

3., 7. ve 28. günlerde 12 tasarımındaki 3’er adet numunenin özelliklerinin ortalaması ayrı ayrı zamana bağlı olarak Tablo 3, 4 ve 5’te sunulmuştur. Buna göre, dayanımları farklı olarak hazırlanan 108 adet numunenin yoğunlukları $2.07\text{-}2.39 \text{ gr/cm}^3$, dayanımları 2.3-69.7 MPa aralığında değişirken, P ve S dalga hızları sırasıyla 2525-4852 m/s ve 1589-2645 m/s aralığında değişmektedir. V_p/V_s oranları ise 1.54-2.03 aralığında iken, Poisson oranları 0.14-0.34 aralığında değişmektedir. Kür süresine bağlı olarak ise, 3 günlük betonlarda yoğunlukları $2.12\text{-}2.31 \text{ gr/cm}^3$, dayanımları 2.3-56.15 MPa, P ve S dalga hızları sırasıyla 2796-4494 m/s ve 1733.8-2339 m/s aralığında değişmektedir. V_p/V_s oranları 1.62-1.98 aralığında iken, Poisson oranları 0.19-0.33 aralığında değişmektedir.

Tablo 3

3 günlük 12 beton tasarımının ortalama özellikleri

Beton Tasarımı	V _P (m/s)	V _S (m/s)	V _P /V _S oranı	Dinamik Poisson oranı (μ _d)	Dayanım (MPa)	Yoğunluk (γ) (gr/cm ³)
T1	2796.0	1733.8	1.62	0.19	2.30	2.20
T2	3104.0	1760.5	1.76	0.26	3.00	2.19
T3	3613.0	2038.3	1.78	0.26	5.75	2.16
T4	3964.0	2165.0	1.83	0.29	8.80	2.12
T5	4051.8	2243.8	1.81	0.28	22.70	2.18
T6	4311.5	2314.0	1.86	0.30	30.60	2.29
T7	4494.0	2326.8	1.93	0.32	39.90	2.31
T8	4336.3	2309.5	1.88	0.30	38.30	2.22
T9	4330.8	2339.0	1.85	0.29	56.15	2.30
T10	4372.8	2304.0	1.90	0.31	47.40	2.31
T11	4448.3	2241.5	1.98	0.33	23.85	2.31
T12	4100.3	2089.3	1.96	0.32	39.00	2.17

Benzer şekilde, 7 günlük betonlarda yoğunlukları 2.09-2.47 gr/cm³, dayanımları 2.73-61.23 MPa aralığında değişirken, P ve S dalga hızları sırasıyla 2922.7-4711.8 m/s ve 1650.8-2402 m/s aralığında değişmektedir. V_P/V_S oranları 1.70-2.01 aralığında iken, Poisson oranları 0.23-0.34 aralığında değişmektedir.

Tablo 4

7 günlük 12 beton tasarımının ortalama özellikleri

Beton Tasarımı	V _P (m/s)	V _S (m/s)	V _P /V _S oranı	Dinamik Poisson oranı (μ _d)	Dayanım (MPa)	Yoğunluk (γ) (gr/cm ³)
T1	2922.7	1650.8	1.77	0.27	2.73	2.22
T2	3078.0	1715.2	1.80	0.26	3.97	2.22
T3	3618.8	1976.0	1.83	0.29	7.87	2.13
T4	3838.5	2086.0	1.84	0.29	12.4	2.12
T5	4015.5	2376.8	1.70	0.23	28.17	2.17
T6	4556.2	2266.8	2.01	0.34	35.93	2.26
T7	4711.8	2357.8	2.00	0.33	51.40	2.47
T8	4482.5	2280.0	1.97	0.33	45.27	2.33
T9	4489.8	2375.0	1.89	0.31	61.23	2.37
T10	4417.2	2339.7	1.89	0.31	55.73	2.30
T11	4587.3	2402.2	1.91	0.31	27.20	2.27
T12	3901.2	2065.3	1.89	0.31	47.07	2.09

Tablo 5

28 günlük 12 beton tasarımının özellikleri

Beton Tasarımı	V _P (m/s)	V _S (m/s)	V _P /V _S oranı	Dinamik Poisson oranı (μ _d)	Dayanım (MPa)	Yoğunluk (γ) (gr/cm ³)
T1	3507.8	1848.8	1.90	0.31	3.73	2.23
T2	3601.8	1977.5	1.82	0.28	5.03	2.23
T3	3882.7	2060.2	1.88	0.30	10.27	2.16
T4	4123.0	2175.8	1.89	0.31	15.27	2.13
T5	4412.7	2354.2	1.87	0.30	33.10	2.21
T6	4500.5	2389.3	1.88	0.30	43.83	2.29
T7	4687.8	2500.0	1.88	0.30	53.00	2.34
T8	4640.8	2432.8	1.91	0.31	51.20	2.31
T9	4706.0	2477.0	1.90	0.31	61.07	2.38
T10	4603.0	2460.2	1.87	0.30	58.40	2.34
T11	4500.3	2372.0	1.90	0.31	37.40	2.31
T12	4186.3	2234.7	1.87	0.30	55.97	2.09

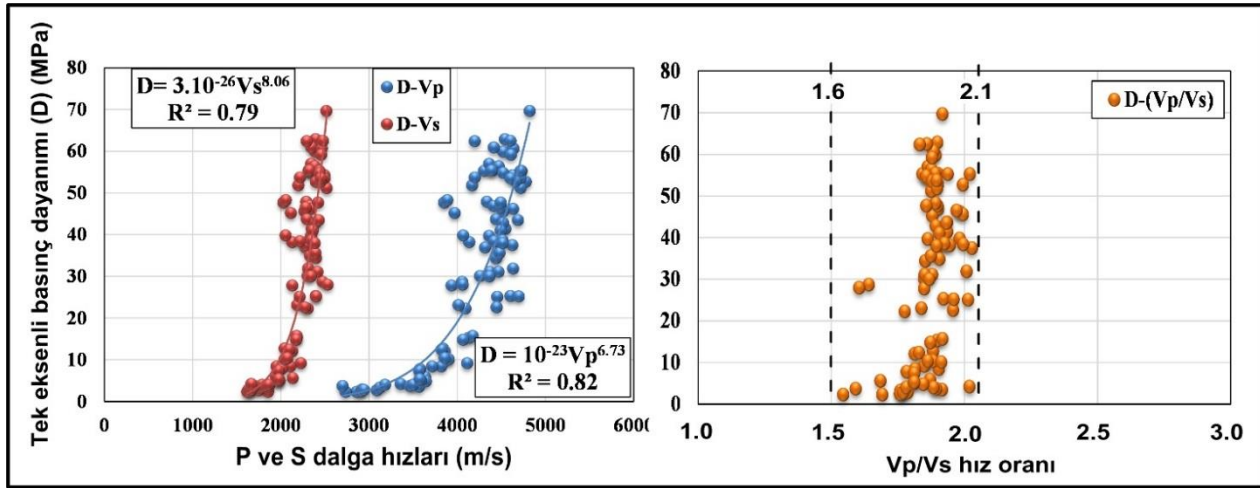
28 günlük betonlarda ise, yoğunlukları 2.09-2.34 gr/cm³, dayanımları 3.73-61.07 MPa aralığında değişirken, P ve S dalga hızları sırasıyla 3507.8-4706 m/s ve 1848.8-2500 m/s aralığında değişmektedir. V_p/V_s oranları 1.82-1.91 aralığında iken, Poisson oranları 0.28-0.31 aralığında değişmektedir.

Ultrasonik P ve S dalga hızları ile hız oranının (V_p/V_s) basınç dayanımıyla olan ilişkisi Şekil 1’de gösterilmiştir. Buna göre, P (V_p) ve S (V_s) dalga hızları ile basınç dayanımları (D) arasında pozitif yönde ve üstel iyi ilişkiler olduğu, fakat sismik hız oranı ile bir ilişkinin belirlenemediği de gözlenmektedir (P ve S dalga hızları için ilişki katsayısı (R^2) sırasıyla 0.82 ve 0.79). İlişki katsayısı 1 değerine yaklaştıkça elde edilen bağıntıların güvenilirliği artmaktadır. Dalga hızlarının artışı ile basınç dayanımlarında da artış gözlenmiştir.

$$D = 10^{-23}V_p^{6.73} \quad R^2 = 0.82 \quad (3.1)$$

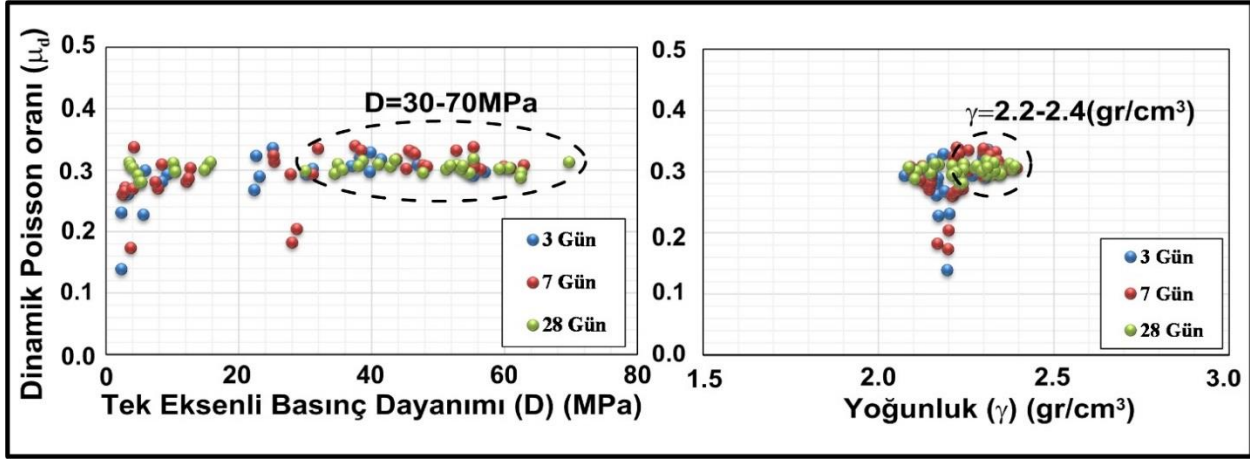
$$D = 3.10^{-26}V_s^{8.06} \quad R^2 = 0.79 \quad (3.2)$$

Basınç dayanımları 2.3-69.7 MPa aralığında değişirken, V_p/V_s oranı da 1.6-2.1 aralığında değişmektedir. Şekil 1’de görülen hız oranındaki bu farklılık dinamik elastik parametrelerin sabit olmayıp belirli bir aralıkta değişmesine sebep olmaktadır.



Şekil 1. P ve S dalga hızları ile hız oranının basınç dayanımı ile ilişkisi

Krenchel (1965) sadece bir beton tasarımı kullanarak yaptığı çalışmada Poisson oranını zayıf betonlarda 0.15-0.18 aralığında, sağlam betonlarda 0.17-0.25 aralığında bulmuştur. Pal (2019) ise pozzolan portland çimento kullanarak 20-45 MPa aralığında dayanıma ve 0.40-0.60 aralığında w/c oranına göre hazırladığı betonlarda dinamik Poisson oranının beton dayanımının artmasına bağlı olarak azaldığını gözlemlemiştir. Simmons (1955) ve Pal (2019) yaptıkları çalışma ile tasarım sayısındaki artışın bu ilişkide saçılmaya yol açtığını belirlemişlerdir. Bu çalışmada ise, farklı dayanımlardaki beton basınç dayanımı ve yoğunluk değerleri ile Poisson oranı arasındaki ilişkiler Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre yoğunluk değerleri 2.07-2.39 gr/cm³ aralığında değişirken, dinamik Poisson oranının genellikle 0.3 civarında olduğu gözlenmiştir. Dinamik Poisson oranı dayanım ve yoğunluk artışından neredeyse hiç etkilenmemiştir. Özellikle dayanımı 30 MPa ve yoğunluğu 2.2 gr/cm³ değerinden yüksek olan betonlarda (Şekil 2’de kesikli çizgi ile gösterilen alanlar) dinamik Poisson oranının 0.3 civarında sabit bir değer aldığı ve ayrıca kür süresinin de bu betonlarda etkisinin ortadan kalktığı gözlenmiştir. Buna göre, dayanımı 30 MPa ve yoğunluğu 2.2 gr/cm³ değerinden düşük olan betonlarda Poisson oranının sabit olmadığı ortaya konulmuştur. 30 MPa dayanım ve 2.2 gr/cm³ yoğunluk değerinden düşük olan betonlardaki Poisson oran değerindeki bir miktar saçılmanın ise 3. ve 7. günlerde hidratasyon sürecini tam olarak tamamlamamış ve gözenek miktarı daha fazla olan numunelerden kaynaklandığı belirlenmiştir.



Şekil 2. Basınç dayanımı ve yoğunluk değerlerinin dinamik Poisson oranı ile ilişkisi

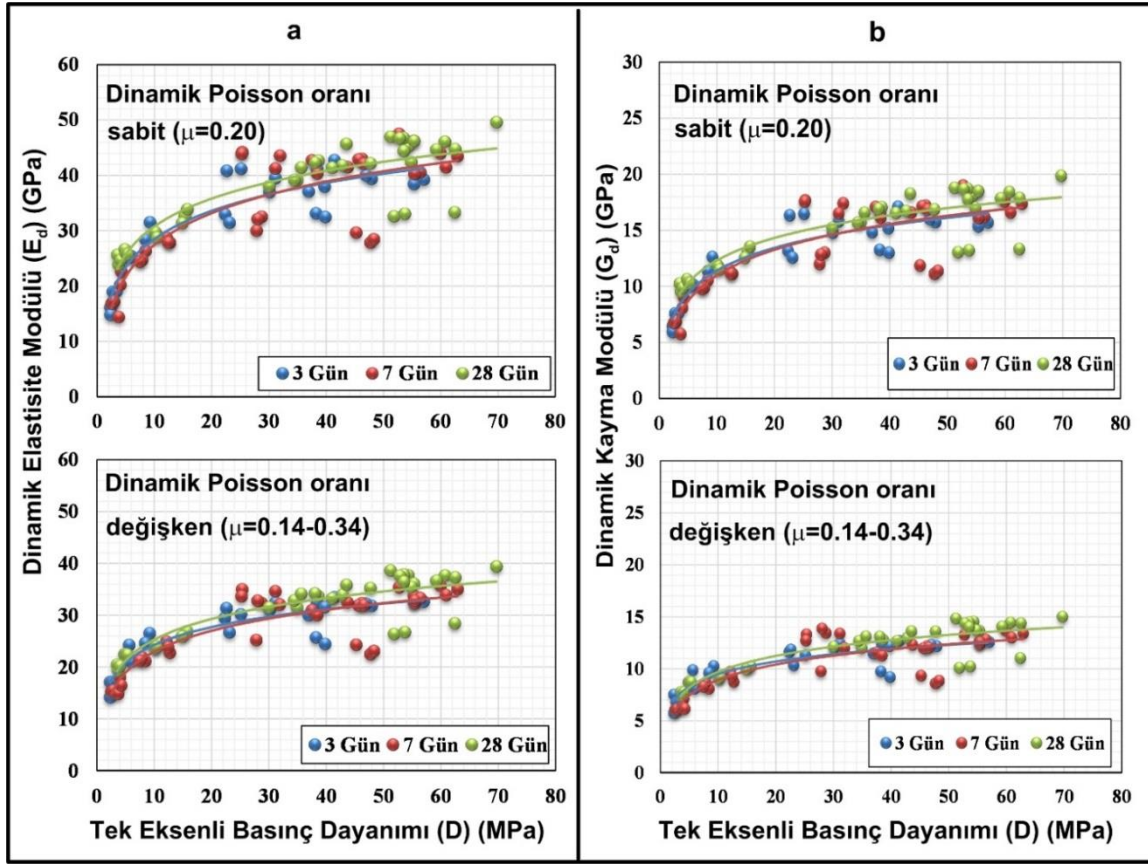
12 beton tasarımının $\mu_d = 0.20$ olarak sabit veya $\mu_d = 0.14-0.34$ aralığında alınmasına bağlı olarak hesaplanan her bir tasarımdaki 9'ar adet numunenin ortalama elastisite ve kayma modülü değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Elastisite modülü değerleri Poisson oranının 0.20 veya 0.14-0.34 alınmasına bağlı olarak sırasıyla ve ortalama olarak 19.55-44.98 GPa ve 17.15-35.57 GPa aralığında değiştiği gözlenmiştir. Benzer şekilde, kayma modülü değerlerinin de Poisson oranının bu iki farklı şekilde alınmasına bağlı olarak ortalama 7.82-17.98 GPa ve 6.79-13.64 GPa aralıklarında değiştiği gözlenmiştir.

Tablo 6

12 beton tasarımının ortalama elastisite ve kayma modülü değerleri

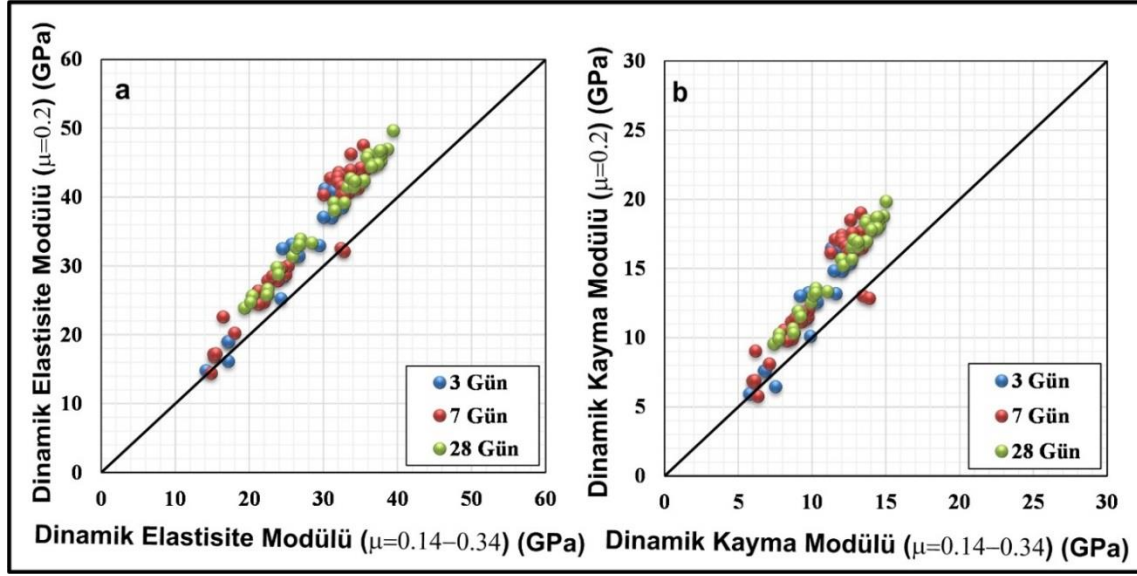
Beton Tasarımı	Elastisite Modülü (GPa)		Kayma Modülü (GPa)	
	$\mu_d = 0.20$	$\mu_d = 0.14-0.34$	$\mu_d = 0.20$	$\mu_d = 0.14-0.34$
T1	19.55	17.15	7.82	6.79
T2	21.68	18.86	8.67	7.42
T3	26.75	22.66	10.70	8.81
T4	30.28	25.23	12.11	9.73
T5	34.43	30.29	13.77	11.98
T6	41.06	32.37	16.43	12.32
T7	44.98	35.18	17.98	13.37
T8	41.98	33.17	16.79	12.63
T9	43.63	35.57	17.45	13.64
T10	41.78	34.12	16.71	13.09
T11	42.22	33.37	16.89	12.70
T12	31.33	25.20	12.53	9.63

Basınç dayanımı ile elastisite ve kayma modülü arasındaki ilişkilerin Poisson oranına ve zamana bağlı değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir. ACI 363 (1984), Noguchi vd. (2009) ve ACI 318 (2014) basınç dayanımı ile elastik modüller arasında negatif yönde artan bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmada da benzer durum ortaya çıkmıştır. Yaklaşık 10 MPa değerine kadar doğrusal olarak elastik modüllerin artışına bağlı basınç dayanımlarında da artış gözlenmiştir. Özellikle 20-70 MPa dayanım aralığında ise, dinamik Poisson oranının 0.20 alındığı durumda Elastisite modülü yaklaşık olarak 28-50 GPa aralığında değişirken, Poisson oranının 0.14-0.34 aralığında olması durumunda ise 20-40 GPa aralığında değiştiği gözlenmiştir. Benzer durum kayma modülü için de geçerlidir. 20-70 MPa dayanıma sahip betonlarda Poisson oranının 0.20 alınması halinde kayma modülü değeri yaklaşık olarak 10-20 GPa aralığında değiştiği, yine Poisson oranının 0.14-0.34 aralığında olması durumunda ise 8-15 GPa aralığında değiştiği gözlenmiştir. Şekil incelendiğinde, elastisite ve kayma modülü değerlerinin 3 ve 7. günlerdeki ölçüm sonuçlarına göre birbirine yakın değerlerde olduğu, 28. günde ise daha yüksek değerler elde edildiği gözlenmiştir.



Şekil 3. Basınç dayanımı ile elastisite (a) ve kayma (b) modülü arasındaki ilişkilerin Poisson oranına bağlı değişimi

Şekil 4'te Poisson oranına bağlı olarak hesaplanan elastisite ve kayma modüllerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil incelendiğinde Poisson oranının sabit veya değişken olması durumlarında hesaplanan elastik modüller arasındaki farklılık bariz şekilde gözlenebilmektedir. Buna göre, Poisson oranının 0.20 alınması ile daha yüksek elastisite ve kayma modülü değerlerinin elde edildiği ortaya konulmuştur. Elastisite modülünün kısmen daha yüksek olması betonun elastik sınırlar içerisinde daha büyük gerilme altında daha küçük şekil değiştirme yapmasını sağlayacaktır.



Şekil 4. Poisson oranına bağlı olarak hesaplanan Elastisite (a) ve Kayma (b) modüllerinin karşılaştırılması

Herhangi 2 değişken (X_i ve X_t) arasındaki görecel hata miktarının yüzdesi Eşitlik 3.3'teki şekli ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Görecel Hata (\%)} = \frac{X_i - X_t}{X_t} \times 100 \quad (3.3)$$

Buna göre, dayanım türü ve zamana bağlı olarak hesaplanan elastisite ve kayma modülleri ve Poisson oranları arasındaki görecel hata (%) Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7

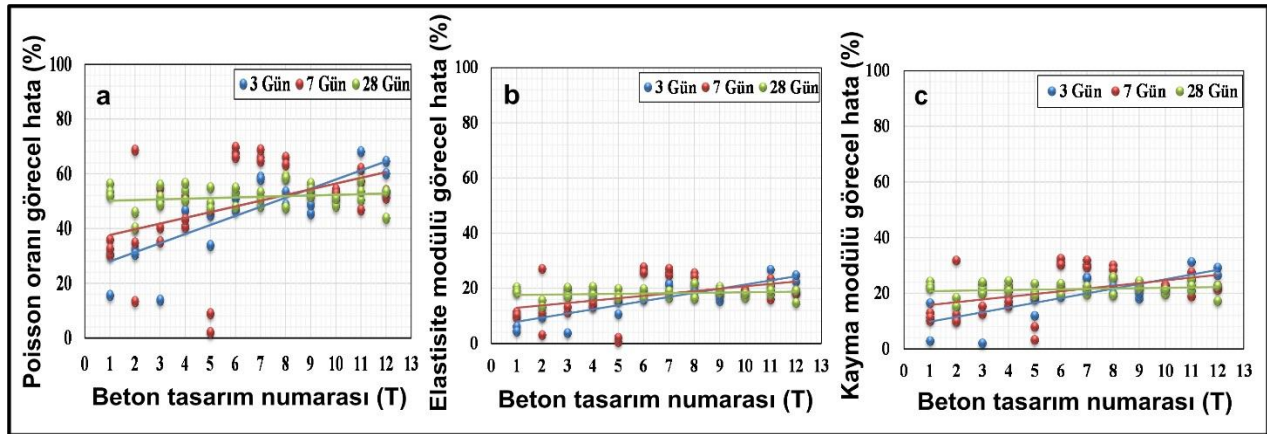
Dayanım türü ve zamana bağlı olarak hesaplanan ortalama elastisite ve kayma modülleri ile Poisson oranlarının görecel hata miktarı (T: Beton tasarımı, ds: dinamik sabit (0.2), dd: dinamik değişken (0.14-0.34) değerler)

T	Görecel Hata (%)								
	3 gün			7 gün			28 gün		
	$\mu_{ds} - \mu_{dd}$	$E_{ds} - E_{dd}$	$G_{ds} - G_{dd}$	$\mu_{ds} - \mu_{dd}$	$E_{ds} - E_{dd}$	$G_{ds} - G_{dd}$	$\mu_{ds} - \mu_{dd}$	$E_{ds} - E_{dd}$	$G_{ds} - G_{dd}$
T1	23.04	5.23	9.67	32.85	10.26	11.37	53.81	19.27	22.82
T2	31.44	9.73	10.65	38.91	13.68	17.97	42.07	13.97	16.25
T3	31.84	10.60	11.30	43.34	14.66	17.04	51.98	18.41	21.78
T4	42.58	14.61	17.07	45.13	15.32	17.95	53.44	19.10	22.62
T5	39.35	12.89	14.82	19.16	6.17	9.98	50.48	17.71	20.92
T6	48.80	16.92	19.96	67.72	26.52	31.22	51.83	18.34	21.70
T7	58.44	21.55	25.54	66.46	25.82	30.43	50.60	17.75	20.99
T8	50.99	17.93	21.21	42.68	23.78	28.11	55.03	19.93	23.58
T9	47.02	16.11	18.96	52.85	18.80	22.27	54.15	19.43	23.02
T10	53.92	19.31	22.88	52.51	18.64	22.07	50.02	17.47	20.65
T11	64.86	24.96	29.37	55.23	20.06	23.71	53.78	19.27	22.82
T12	62.32	23.58	27.88	52.65	18.71	22.15	50.29	17.65	20.83

Tablo 7'ye göre, 3 günlük numunelerde Poisson oranları arasındaki görecel hata %23.04-64.86 aralığında, elastisite modülleri arasında %5.23-24.96 ve kayma modülleri arasındaki görecel hata ise %9.67-29.37 aralığında değişmektedir. Benzer şekilde, 7 günlük numunelerde Poisson oranları arasındaki görecel hata %19.16-67.72 aralığında, elastisite modülleri arasında %6.17-26.52 ve kayma modülleri arasındaki görecel hata ise

%9.98-31.22 aralığında değişmektedir. 28 günlük numunelerde ise, Poisson oranları arasındaki görecel hata %42.07-55.03 aralığında, elastisite modülleri arasında %13.97-19.93 ve kayma modülleri arasındaki görecel hata ise %16.25-23.58 aralığında değişmektedir.

Poisson oranının 0.2 veya 0.14-0.34 alınmasına bağlı olarak 12 beton tasarımındaki elastik parametrelerdeki yüzde farklarının zamana bağlı değişimi Şekil 5b ve 5c'de ayrı ayrı sunulmuştur. Genellikle Poisson oranının sabit (0.2) ve değişken (0.14-0.34) alınmasına bağlı olarak hesaplanan Poisson oranı, elastisite ve kayma modülü değerlerindeki görecel hatanın 1.-8. tasarımlarda (T1-T8) zamana bağlı olarak arttığı, 9.-12. tasarımlarda (T9-T12) ise bu hata oranının zamanla azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, düşük ve orta dayanımlı betonlarda sertleşme süresi ve dayanımlardaki artışa bağlı olarak Poisson oranının sabit ve değişken değerlerde olmasına göre elde edilen elastik parametreler arasındaki farkın arttığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, standartlardaki şekilde Poisson oranının sabit alınmasının hesaplamalarda hatalara yol açacağı düşünülmektedir.



Şekil 5. Poisson oranının 0.2 veya 0.14-0.34 alınmasına bağlı olarak 12 beton tasarımındaki elastik parametrelerdeki görecel hatanın (%) zamana bağlı değişimi

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada dayanımları yaklaşık olarak 2-70 MPa ve yoğunlukları 2.07-2.80 gr/cm³ arasında değişen betonlar bir arada değerlendirildiğinde dinamik Poisson oranlarının 0.14-0.34 aralığında değiştiği ve ortalama olarak 0.30 değerini aldığı belirlenmiştir. Farklı dayanımlardaki betonlar için dinamik olarak hesaplanan Poisson oranı ile sabit olarak alınan dinamik Poisson oranı (0.20) arasında yaklaşık olarak %48 fark olduğu ve bu nedenle de Poisson oranının yapı ile ilgili hesaplamalarda sabit bir değer olarak alınmasının doğru olmadığı ortaya konulmuştur. Aynı durumun statik elastik modüllerin hesaplanmasında da geçerli olacağı düşünülmektedir.

Değişken Poisson oranları ile hesaplanan elastik modüller, sabit olarak alınan Poisson oranı ile hesaplanan elastik modüllere göre daha küçük değerlerde bulunmuştur. Bu durum güvenli yapı oluşturulması açısından avantajlı olmasına karşın, maliyet artışına sebep olacağından ekonomik olmayacağı düşünülmektedir. Dayanım değerlerine bağlı olarak hesaplanan bu iki durumdaki elastisite ve kayma modülü değerlerinin 3 ve 7. günlerdeki ölçüm sonuçlarına göre birbirine yakın olduğu, 28. günde ise daha yüksek değerler elde edildiği gözlenmiştir.

Dinamik Poisson oranı ile beton yaşı arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Farklı dayanımlardaki 3 günlük numunelerde Poisson oranları, elastisite ve kayma modülleri arasındaki görecel hata yaklaşık olarak sırasıyla %23-65, %5-25 ve %9-30 aralığında değişmektedir. Benzer şekilde, 7 günlük numunelerde Poisson oranları, elastisite ve kayma modülleri arasındaki görecel hata yaklaşık olarak sırasıyla %19-68, %6-27 ve %10-31 aralığında değişmektedir. 28 günlük numunelerde ise, Poisson oranları, elastisite ve kayma modülleri arasındaki görecel hata yaklaşık olarak sırasıyla %42-55, %14-20 ve %16-24 aralığında değişmektedir. Yapılan çalışmada, özellikle 30 MPa ve 2.2 gr/cm³ yoğunluk değerinden yüksek betonlarda dinamik Poisson oranının 0.3 civarında sabit bir değer aldığı ve ayrıca kür süresinin de bu betonlarda etkisinin ortadan kalktığı gözlenmiştir. Poisson oranının sabit veya değişken alınmasına bağlı olarak hesaplanan elastisite ve kayma

modülü değerlerindeki görecel hatanın genellikle ilk sekiz tasarımda zamana bağlı olarak arttığı, diğer tasarımlarda ise zamanla azaldığı belirlenmiştir.

Teşekkür

Çalışmaya yaptığı eleştiri, yorum ve katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Osman UYANIK' a teşekkür ederim.

Yazar Katkıları

Nevbahar EKİN: Analizi planlamış ve tasarlamıştır, veri toplamış ve analizini yapmıştır, çalışmanın istatistiksel analizlerini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Kaynaklar

- ACI Committee 363. (1984). *State-of-the-art report on high-strength concrete*. ACI J. Proc., 81, 364–411.
- ACI Committee 318. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary*. American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 503.
- Ahmed, L. (2018). Dynamic measurements for determining poisson's ratio of young concrete. *Nordic Concrete Research – Publ.*, No. NCR 58 – 1(6) 95-106. <https://doi.org/10.2478/ncr-2018-0006>
- Akkaya, İ., Özvan, A., Tapan, M., Bor, M., Özvan, E.E. (2017). Farklı kayalarda ultrasonik yöntem ile belirlenen poisson oranının kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerle ilişkisinin belirlenmesi. *MÜHJEO'2017: Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu*, 208-215, 12-14 Ekim 2017, ÇÜ, Adana.
- Anson M. ve Newman K. (1966). The effect of mix proportions and method of testing on poisson's ratio for mortars and concretes. *Magazine of Concrete Research*, 18(56), 115-130. <https://doi.org/10.1680/mac.1966.18.56.115>
- Atıcı, Ü. ve Yünel, T.Y. (2011). Granitlerde kuru ve suya doymuneler için dinamik ve statik elastisite modülünün değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1), 1-10. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/211393>
- Brooks, J.J. (2015). *Elasticity of concrete*, Concrete and Masonry Movements, Chapter 4, Elsevier, 61-93.
- BS EN 1992-1-1. (2004). *General rules and rules for buildings*. Eurocode 2: Design of concrete structures, (incorporating corrigendum January 2008, November 2010 and February 2014).
- Chao, H.C. (2002). *An experimental model for non-destructive evaluation on pile foundations using guided wave approach*. Northwestern University, Ph.D. Dissertation, Evanston, Illinois, U.S.A.
- Eissa, E.A. ve Kazi, A. (1988). Relation between static and dynamic Young's moduli of rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 25, 479-482. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(88\)90987-4](https://doi.org/10.1016/0148-9062(88)90987-4)
- Elsadig, A.D.Y., Elfaki, H.O.A., Ali, H.O.M., Idress, K.E.H. (2014). *Calibration of wire-line mechanical properties using core measurements results for heglig oilfield - case study*. Sudan University of Science and Technology Department of Petroleum Engineering, Bsc. thesis, Sudan, 37p.
- Fei, W., Huiyuan, B., Jun, Y., Yonghao, Z. (2016). Correlation of dynamic and static elastic parameters of rock. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 21(04), 1551-1560. Erişim adresi: <http://www.ejge.com/2016/Ppr2016.0136ma.pdf>
- Gerçek, H. (2004). Kayaçların poisson oranına göre sınıflandırılması. *Kayamek'2004-VII Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, A. Ceylanoğlu ve B. Erdem (ed.), TUKMD ve CÜ Maden Müh. Bölümü,

Sivas, s. 9-17.

- Green, A.E. ve Zerna, W. (2012) *Theoretical elasticity*, Second edition, Dover, Newyork.
- Hongkui, G., Yingsong, L., Shanzhou, M., Lili, S. (2001). Difference of rock elastic parameters under static and dynamic loading. *Frontiers of Rock Mechanics and Sustainable Development in the 21st Century*, Proceeding of the 2001 ISRM International Symposium, 11-14 September, Beijing, China.
- Kee, S.H., Kang, J.W., Choi, B.J., Kwon, J., Candelaria, M.D. (2019). Evaluation of static and dynamic residual mechanical properties of heat-damaged concrete for nuclear reactor auxiliary buildings in korea using elastic wave velocity measurements. *Materials*, 12(17), 2695. <https://doi.org/10.3390/ma12172695>
- Klink, S.A. (1985). Actual Poisson ratio of concrete. *Journal of The American Concrete Institute*, 82(6), 813-817. Erişim adresi: <https://www.concrete.org/publications/10392>
- Kodur, V. (2014). Properties of concrete at elevated temperatures. *International Scholarly Research Notices*, Article ID 468510, 15 pages. <https://doi.org/10.1155/2014/468510>
- Krech, W.W. Henderson, F.A. and Hjelmstad, K.E. (1974). *A Standard rock suite for rapid excavation research*. USBM Report of Investigations, RI 7865.
- Krenchel, H.E. (1965). Structure concrete and its behavior under Load. *Proc. International Conference, September 1965*,160.
- Lydon F.D. ve Balendran R.V. (1986). Some observations on elastic properties of plain concrete. *Cement and Concrete Research*, 16(3), 314-324. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(86\)90106-7](https://doi.org/10.1016/0008-8846(86)90106-7)
- Leslie J.R. ve Cheesman, W.J. (1949) An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures. *American Concrete Institute Proceedings*, 46(9), 17-36. <https://doi.org/10.14359/12041>
- Naus, D.J. (2006). The effect of elevated temperatures on concrete materials and structures. *A Literature Review at ORNL*, Oak Ridge National Laboratory: Oak Ridge, TN, USA. <https://doi.org/10.2172/974590>
- Noguchi, T., Tomosawa, F., Nemati, K.M., Chiaia, B.M., Fantilli, A.P. (2009). A practical equation for elastic modulus of concrete. *ACI Materials. Journal*, 106, 690–696.
- Özçelik, E., ve Gelişli, K. (2018). Betonarme yapılarda jeofizik yöntemlerle beton kalitesi ve yapı donatı durumunun araştırılması. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17(1), 1-11. <https://doi.org/10.30706/uybd.433735>
- Öziçer, S. ve Uyanık O. (2017). Beton dayanımının yerinde P dalga hızından belirlenmesi ve İzmir örneği. *SDU International Journal of Technological Sciences*, 9(1), 1-16. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/441583>
- Pal, P. (2019). Dynamic Poisson's Ratio and Modulus of Elasticity of Pozzolana Portland Cement Concrete. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 9(2), 131-144. Erişim adresi: <http://ojs.imeti.org/index.php/IJETI/article/view/3132>
- Sabbağ, N. ve Uyanık, O. (2016). Time-dependent change of seismic velocities on low-strength concrete. *The Online Journal of Science and Technology (TOJSAT)*, 6(4). Erişim adresi: <https://www.tojsat.net/journals/tojsat/articles/v06i04/v06i04-09.pdf>
- Sabbağ N. ve Uyanık O. (2017). Prediction of reinforced concrete strength by ultrasonic velocities. *Journal of Applied Geophysics*, 141, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2017.04.005>
- Sabbağ N. ve Uyanık O. (2018a). Determination of the reinforced concrete strength by apparent resistivity depending on the curing conditions. *Journal of Applied Geophysics*, 155, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.03.007>
- Sabbağ, N. ve Uyanık, O. (2018b). Doymuş betonların statik ve dinamik elastik parametrelerinin karşılaştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18, 1181-1189. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid/issue/44157/544753>

- Simmons, J.C. (1955). Poisson's ratio of concrete: a comparison of dynamic and static measurements. *Magazine of Concrete Research*, 7(21), 61-68. <https://doi.org/10.1680/mac.1955.7.20.61>
- Teller, L.W. (1956). *Elastic properties, in significance of tests and properties of concrete and concrete aggregates*. ASTM Special Technical Publication, 169, 94-103.
- Timoshenko, S.P. (1970). *Theory of elasticity*. 3rd ed., New York, McGraw-Hill Book Company.
- TS EN 12390-2. (2019). *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabii tutulması*. TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3. (2019). *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini*. TSE, Ankara.
- TS ISO 1920-10. (2015). *Beton deneyleri-Bölüm 10: Basınç altında statik elastik modülünün belirlenmesi*. TSE, Ankara.
- Uyanık, O., Sabbağ, N., Uyanık, N.A., Öncü, Z. (2019). Prediction of mechanical and physical properties of some sedimentary rocks from ultrasonic velocities. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 6003-6016. <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01501-6>
- Uyanık, O. Şenli G., Çatlıoğlu B. (2013). Binaların beton kalitesinin tahribatsız jeofizik yöntemlerle belirlenmesi. *SDÜ Uluslararası Teknoloji Bilimler Dergisi*, 5(2), 156-165. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/utbd/issue/26208/275933>
- Uyanık, O., Gülay, F.G., Tezcan, S. (2012). Beton dayanımının tahribatsız ultrasonik yöntemle tayini. *Hazır Beton*, 82-85. Erişim adresi: <https://www.thbb.org/media/2160/makale109.pdf>
- Uyanık, O. ve Tezcan, S. (2012). Beton dayanımının ultrasonik yöntemle tayini. *Jeofizik Bülteni*, 23(70), 41-45.
- Uyanık, O. (2012). Sismik hızlardan beton dayanımının belirlenmesi. *Jeofizik Bülteni*, 23(70), 25-30.
- Uyanık, O. (2015). Deprem ağır hasar alanlarının önceden belirlenmesi ve şehir planlaması için makro ve mikro bölgelendirmelerin önemi. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 24-38. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/194047>
- Uyanık, O. ve Çatlıoğlu, B. (2015). Sismik hızlardan yoğunluğun belirlenmesi. *Jeofizik*, 17(1-2), 3-15.
- Uyanık, O., Kaptan, K., Gülay, F.G., Tezcan, S. (2011). Beton dayanımının tahribatsız ultrasonik yöntemle tayini. *Yapı Dünyası*, 184, 55-58. Erişim adresi: http://www.yapidunyasi.com.tr/arsiv/184_TEM_2011.pdf
- Uyanık, O. ve Ulugergerli, E.U. (2008). Quality control of compacted grounds using seismic velocities. *Near Surface Geophysics*, 6(5), 299-306. <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2008004>
- Wang, H. (2004). *Theoretical evaluations of embedded plate-like and solid cylindrical concrete structures with guided waves*. Northwestern University, PhD Dissertation, Evanston, Illinois, U.S.A, 318 p.



Çanakkale Boğazı, Özbek Denizel Sekisi Oluşum Yaşı için ESR Tekniği ile bir Ön Değerlendirme

Tolga Komut^{1,*}, Sevinç Kapan²

¹Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye,

²Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 22.01.2020

Kabul: 18.08.2020

Yayın: 29.12.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Çalışmamızda incelediğimiz Özbek denizel sekisi deniz kıyısından 4 km içeride olup Çanakkale boğazı civarında, tespit edilen diğer denizel sekilere nispetle en yüksekte olanıdır. Marmara kıyılarında da yaygın olarak görülen denizel sekilerin oluşmasına sebebiyet veren düşey hareketlerin Marmara bölgesinin tektoniklerini ve ayrıca boğazların oluşumunu anlamak açısından anahtar bilgiler barındırdığı düşünülmektedir. Sekide Geç Pleistosen'deki Akdeniz koşullarını temsil eden bol miktarda *Ostrea edulis* kavrıkları tanımlanmıştır. Seki ESR tarihlendirme tekniği ile 16.2 ± 1.8 ka olarak tarihlendirilmiştir. O devirdeki küresel deniz seviyesi dikkate alındığında sekinin günümüze kadar toplamda yaklaşık olarak 250 metre kadar yükseldiği anlaşılmaktadır. Çanakkale Boğazının Akdeniz ile Marmara bağlantısını sağladığından beri bölgenin jeodinamik olaylarla yükseldiği ve bu süreçte boğaz tabanının derine kazıldığı düşünülmektedir. Tarihlendirme sonucuna göre bölgenin çok geniş bir sahaya yayılan batı Anadolu'nun yükselmesi olayı ile bağlantılı olarak yükselmiş olabileceği fikri öne çıkmıştır. Varlığı yeni verilerle artarak desteklenen yer kabuğunun altındaki astenosferin yukarı yönlü akımının etkileri, araştırma alanının içinde olduğu geniş bir bölgenin yükselmesine sebep olur. Bu yükselmenin deniz kıyısında oluşan denizel fosilli birimleri bölgeyle beraber yükseltilere taşıyıp denizel sekilerin gelişimine sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Diğer taraftan, seki birimleri çok ileri derecede mangan'ca kirlenmiş olduğundan numunelerin analizinde sorunlar vardır. Tarihlendirmeye tâbi tutulan numune sayısının çokluğu güvenilirliğin denetlenmesi bakımından bir gerek-sinim olmakla beraber haklarında yok denecek kadar az bilgi bulunan bölgedeki yüksek sekilere dair edindiğimiz ön nitelikteki tarihlendirme sonuçları bölgenin geçmişindeki jeodinamik olaylar hakkında, bölgedeki diğer yer-bilimsel verilerle tutarlı bir model kurulabilmesini sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler – Çanakkale boğazı, epirojeni, ESR tarihlendirmesi, Geç Pleistosen, denizel seki

A Preliminary Evaluation for the Formation Age of Özbek Marine Terrace, Çanakkale Strait with ESR Technique

¹Department of Geophysical Engineering, Faculty of Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

²Department of Geological Engineering, Faculty of Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 22.01.2020

Accepted: 18.08.2020

Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – The Özbek terrace we studied is 4 km inland from the seacoast and the highest one in the vicinity of the Çanakkale strait, relative to the other marine terraces. It is considered that the vertical movements causing the formation of marine terraces that are common along the Marmara coasts contain key information in order to understand the tectonics of the Marmara region and the formation of the straits. Plenty of *Ostrea edulis* seashell fossils that representing the Mediterranean conditions of the Late Pleistocene have been identified in the terrace. The terrace was dated to 16.2 ± 1.8 ka by ESR. According to the global sea level at that time, it appears to have risen, up to 250 meters. The region is probably have elevated in relation to geodynamic events and bottom of the strait was dug deep during this process since the strait connects the Mediterranean and Marmara. According to our dating, the idea that the region might have elevated in connection with the extensive rise of western Anatolia has come to the fore. We suggest that significant effects of upward asthenospheric flow beneath western Anatolia, whose presence is increasingly supported by new data cause elevation of a wide region including the units formed on seacoast and the development of the marine terraces. However, there are problems in dating because of Manganese contamination. Although the number of samples is a necessity for the control of reliability, our preliminary results on high marine terraces with nearly no information on them before, enabled the model to be built on the geodynamics of the region consistent with other geoscientific data in the region.

Keywords – Çanakkale strait (Dardanelles strait), epirogeny, ESR dating, Late Pleistocene, marine terrace

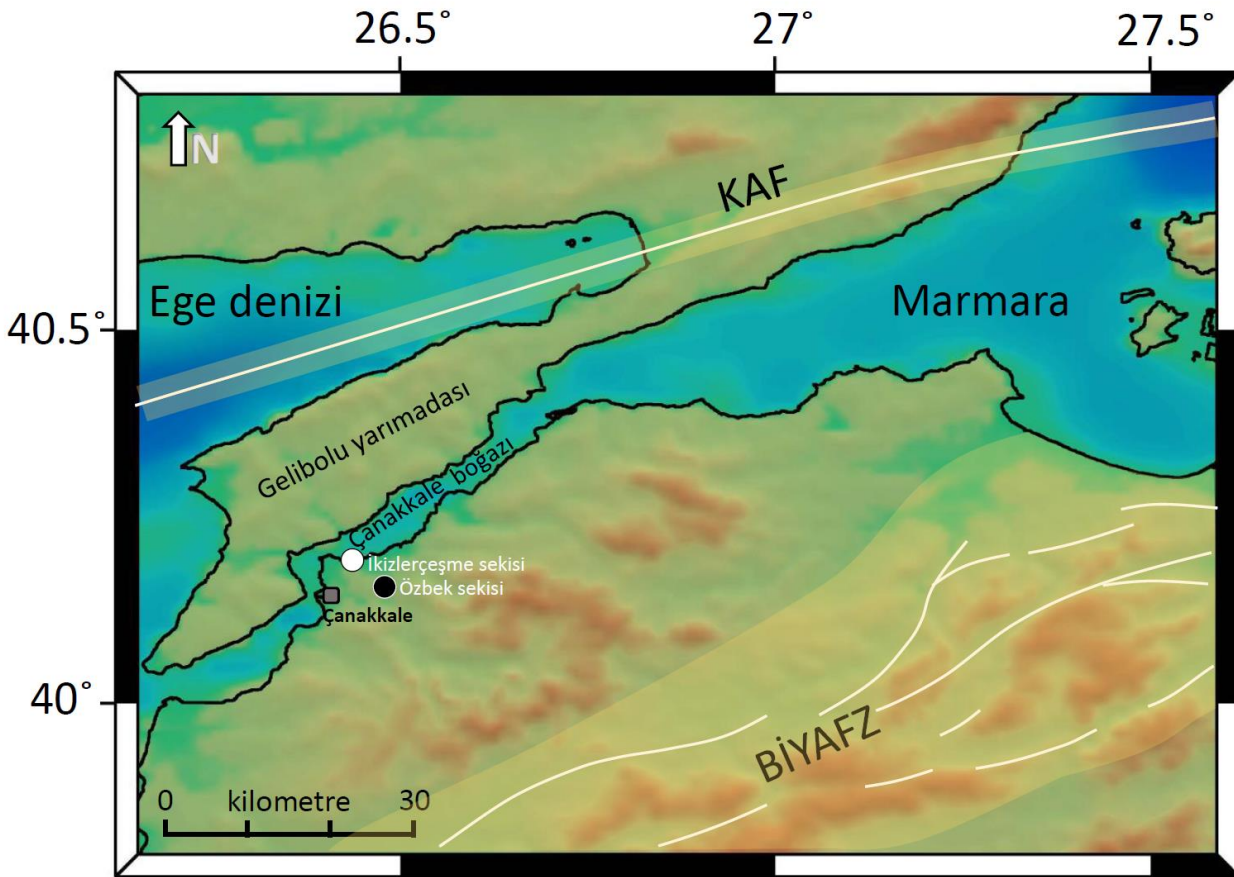
¹ tolgakomut@comu.edu.tr

² sevinckapan@comu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Marmara denizi ve Çanakkale boğazı kıyılarında yaygın olarak bulunan denizel sekiler 1900'lerin başından beri bilinmektedir (Newton, 1904; Gutzwiller, 1923; Chaput, 1947; Arıç, 1955; Ardel ve İnandık, 1957; Erol ve İnal, 1980; Taner, 1983; Meriç vd., 1988; Paluska ve Bargu, 1989). Çanakkale boğazı ve çevresindekiler araştırmacıların özellikle ilgisini çekmekte, fosil içeriklerine göre Pleyistosen yaşlı oldukları düşünülmekte ve oluşum sebepleri hakkında çeşitli fikirler öne sürülmektedir (Sakinç ve Yaltrak, 1997; Avcioğlu vd., 2013; Komut ve Kapan-Yeşilyurt, 2010). Küresel deniz seviyesi değişimlerine dair tüm çalışmalar oluşumlarından sonra deniz seviyesinde genel bir çekilme olmadığını gösterir. Yani östatik sebeplerle oluşmuş olmadıkları açıktır. Çanakkale boğazı ve civarındaki bu deniz sekilerinin, ispat edilememiş olsa da oluştukları zamandaki deniz seviyesinden fay hareketlerinin sebep olduğu deformasyonlar nedeniyle yükselmiş olabileceği akıllara gelen ilk fikir olup yaygın olarak kabul görmüştür (Sakinç ve Yaltrak, 1997). Pleyistosen'de deniz seviyesinde bulunan çökellerin yükselmesi gibi düşey hareketler Marmara denizinin oluşumunu ve dolayısıyla Marmara bölgesinin tektoniğini ve ayrıca boğazların oluşumunu anlamak açısından anahtar bilgiler barındırıyor olabilir. Arpat ve Şentürk (2000) önemleri nedeniyle deniz kıyısından uzakta 60 m'den yüksek denizel sekilerin de varlığı üzerinde durmuşlardır. Bunlardan Özbek köyü (Çanakkale) dolaylarında gözlenen birinin yüksekliği 115 m civarındadır (Şentürk ve Karaköse, 1987). Çalışmamızda incelediğimiz bu seki (Özbek denizel sekisi), Akdeniz faunası ile temsil edilmekte ve boğaz civarında, tespit edilip de literatüre girenlere oranla en yüksekte olanıdır ve deniz kıyısından 4 km içeridedir (bkz. Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada incelenen Özbek sekisi (siyah nokta), yakınındaki İkiizlerçeşme sekisi (beyaz nokta) ve çevresindeki diri fay zonları. Kuzeybatı Anadolu'daki tektonik rejimi temsil eden sağ yanal faylar beyaz hatlarla gösterilmiştir. Kuzey Anadolu fayı (KAF) çevresi ve Biga yarımadası fay zonu (BİYAFZ) gölgelendirilmiştir.

Özbek sekisi çevresini de kapsayan, çeşitli ölçekte çalışma alanlarına sahip aktif tektonik araştırmalarda pek çok diri fay haritalanmış olup (Şaroğlu vd., 1992), hiçbirisinde boğaza yakın eğim atımlı bir faya işaret edilmemiştir. Bölgeye yakın faylar doğrultu atımlıdır. Bunlardan en yakın olan Kuzey Anadolu fayının (bkz. Şekil 1) sekiye olan en kısa mesafesi yaklaşık 35 km olup fay boyunca yer yer muhtemel olan lokal transpresyonal etkinin mesafeler dikkate alındığında seki bölgesine ulaşmış olabileceği mümkün gözükmemektedir. Gerek GPS hızlarına dayalı deformasyon modellemelerinde (Straub ve Kahle, 1997) gerekse de deprem stres analizlerinde (Pondard vd., 2007) 70 km çevreye yayılarak seki bölgesini yükseltecek ölçüde yerel bir sıkışmadan bahsedilmemektedir. Ayrıca, Gökaşan vd. (2010)'nin Çanakkale boğazı boyunca yaptığı ayrıntılı deniz altı yapısı araştırmaları için topladığı sığ sismik veri analizlerinin sonucunda, Akdeniz ile Marmara denizi arasında boğaz yolundan deniz geçidi oluşup Akdeniz'in Marmara'yı küresel deniz seviyesine kadar doldurması sürecinde Çanakkale boğazının kazılarak bugünkü derin morfolojisine ulaştığı anlaşılmıştır. Yani, boğazın eğim atımlı faylarla değil su akıntısı ile oyulmak suretiyle derinleştiği sonucuna varılmıştır. Çalışmada, buna ek olarak, boğaz bölgesinde bulunabilecek fayların ancak ikincil olabileceği belirtilmiştir. Bu verilerin bize gösterdiği gerçekler çerçevesinde Özbek sekisinin de içerisinde bulunduğu geniş bir alanın diri faylardan bağımsız, epirojenik olarak yükselmiş olabileceği düşünülmüştür. Araştırmamız neticesinde bölgenin birçok çalışmada öne sürülmüş olan çok geniş bir sahaya yayılan batı Anadolu'nun yükselmesi olayı (Arpat, 1976) ile bağlantılı olarak yükselmiş olabileceği fikri öne çıkmıştır. Öne sürdüğümüz bu model göz önüne alındığında diri fay etkisinin bölgeye kadar tesir edebileceğine dair abartılı deformasyonların varlığını düşünmeye gerek kalmamaktadır.

Bouguer gravite modellerinde anomali değerlerinin, normal izostatik şartlarda, denizle kaplı alanlarda pozitif, karalarda ise negatif olması gerekir ve sıfır miligal konturunun kıyı şeritlerini takip etmesi beklenir. Ancak, eğer kompensasyon sağlanmadıysa izostatik dengesizlik doğar. Bu gibi durumlarda, az kompanse olmuş bölgeler beklenenden yüksek gravite anomalisi ile belirirler. Bu açıdan, çalışma alanının ve geniş çevresinin gravitasyonel modellere göre aşırı-az-kompanse olduğu 1970'li yıllardan beri (Özelçi, 1973) iyi bilinmektedir. İzostatik dengesizlik olduğu, hem gravite ve topoğrafya anomalisi dalga boyları arasında var olan sıkı ilişkide (atmittance) hem de pozitif yönde izostatik dengesizliğe işaret eden kabuğun astenosfer üstündeki yüzme ilişkilerinde kendini göstermiş olup kurulan termo-mekanik manto konveksiyonu modelleri ile anlaşılan astenosferdeki termal dengesizliğin sebep olduğu yukarı yönlü konveksiyon da bunu desteklemektedir (Komut vd., 2012). Ayrıca, batı Anadolu ve hatta Anadolu'nun tamamının kitle halinde yükseldiğini gösteren birçok jeomorfolojik verinin varlığı da çok eskiden beri iyi bilinmektedir (Ardos, 1995; Arpat ve Bingöl, 1969). Bu yaygın yükselme derindeki yukarı yönlü sıcak manto konveksiyonunun etkisinde gerçekleşmiş olmalıdır. Jeomorfolojik bulgulardan, bölge coğrafyasında yaygın bir şekilde görülen gömük menderesler, yüksekte kalmış aşınım düzlükleri ve alüvyal ve denizel sekiler yükselmeye dair güçlü deliller olarak kabul edilmektedir. Diğer taraftan, sismolojik tomografi çalışmalarında Kuzeybatı Anadolu'nun altında üzerindeki litosferi de yükseltmeye yetecek kadar geniş ve belirgin şekilde sıcak bir manto zonunun varlığının düşük sismik hız zonu ile temsil edildiği gerçeği ortaya konmuştur (Spakman, 1986; Meulenkaamp vd., 1988; Ligdas, Main ve Adams, 1990; Ligdas ve Main, 1991). Jeokimyasal analizlere dayalı jeotermobarometrik modeller de buradaki incelenmiş litosferik mantonun altında ileri derecede ısınmış bir manto bölgesinin varlığına işaret etmekte (Aldanmaz, Gourgaud ve Kaymakçı, 2005) ve bu durum bölgedeki yüksek ısı akısı anomalisi ile uyum göstermektedir (Tezcan, 1995). Batı Anadolu'daki sıcak su kaynaklarının analizlerine göre, bu kaynaklar ergimiş bir mantodan açığa çıkan gazların sularla yüzeye taşınmış olduğunu göstermiştir (Mutlu, Güleç ve Hilton, 2008). Anadolu'nun tümünde mantonun, batıya doğru dereceli olarak artacak ve diğer verilerle uyumlu bir şekilde normalde olması gerekenden çok daha yüksek bir ısıya sahip olduğu genç bazalt volkanizması araştırmacıları tarafından da ortaya konmuştur (Çoban, 2007). Bulguların birbiri ile tutarlı olduğu açıkça görülmektedir.

Çanakkale boğazı kıyıları boyunca varlığı tespit edilen ve ayrıntılı olarak haritalanan nispeten alçak (<60m) denizel sekilerin bir kısmı için OSL ve ESR mutlak yaş tayinleri yapılmıştır (Avcioğlu vd., 2009; Aydaş vd., 2015). Ancak, yüksekte bulunan denizel sekiler kıyı şeridi kenarında bulunan deniz sekilerinden ayrı tutulması

gerekip özel önem taşımaktadırlar. Çünkü bu sekilerin deniz kıyısındakilerle olan ilişkileri üzerinde durulmamış ve bu denli yükseklerde bulunış sebepleri şimdiye kadar araştırma konusu yapılmamıştır. Çalışmamızda, Özbek denizel sekisinin ilksel ESR tarihlendirmesi yapılmış buna göre, oluştuğu zamandan günümüze kadar kümülatif olarak yaklaşık 250 metre kadar yükseldiği sonucuna varılmıştır. Bu süreçte boğaz boyunca uzanan bir vadinin bölge alçaldığı ve Özbek sekisinin oluştuğu devirde Akdeniz'i Marmara havzasına bağlayan bir boğaza dönüştüğü, sonrasında Akdeniz sularının Marmara havzasına geçişi sırasında ve bölge yükselirken derine kazılarak derinleştirildiği ve ardından günümüze kadar muhafaza edilmiş olduğu düşünülmektedir.

2. Özbek Sekisi Stratigrafisi ve ESR Tarihlendirmesi

Şentürk ve Karaköse (1987)'nin Çanakkale boğazı ve çevresinin jeolojik raporunda ilk kez değinilen Özbek denizel sekisi, Akdeniz koşullarını temsil eden fosiller içerir. Arazi incelemelerimize göre Özbek ovası çevresinde, kıyından 4 km kadar uzak ve 100 m civarı yükseklikte yalıtışları ve denizel sekiler mevcut olup fosil içeren sekilerin birçoğu aşınmış vaziyettedir. Özbek denizel sekisi (bkz. Şekil 2) bunların en yükseği ve iyi derecede korunmuş olanıdır. Ortalama yüksekliği 2 m kadar olan mostra yaklaşık 21 m boyunca K70B doğrultusunda uzanmakta ve en üst seviyesi deniz seviyesinden 115 m yüksektedir. Sekiyi oluşturan birimlerin ve birbirleri ile ilişkilerinin geometrisinde heyelan ya da faylanmanın sebep olabileceği bir deformasyon görülmemektedir. Mostra ayrıntılı olarak incelenmiş, loglanıp örneklenmiş olup paleontolojik çalışmalarımızda Geç Pleyistosen'deki Akdeniz koşullarını temsil eden bol miktarda *Ostrea edulis* kavkıları tanımlanmıştır. Özbek sekisinde tanımlanan bu faunanın paleocoğrafik yayılımı ve paleoekolojik özellikleri (Erol ve Nuttall, 1973; Kapan-Yeşilyurt, Taner ve İslamoğlu, 1997, Kapan-Yeşilyurt, Taner ve Okan, 2000; Kapan-Yeşilyurt ve Taner, 2002; Neveskaya, 1963; Poppe ve Goto, 1991, 1993; Sevinçer, 1998; Taner, 1981) incelendiğinde sekinin, Geç Pleyistosen'de deniz seviyesinin göreceli bir yükselimi sonucunda, Akdeniz sularının bölgeye ulaşması ile oluştuğu düşünülmektedir.

Geç Pliyosen (Akçagiliyen) zamanında çökelmiş olan, *Avimactra*'lı karbonatlı kumtaşları üzerine uyumsuzlukla gelen Özbek sekisinin stratigrafisi ve litolojik özellikleri incelendiğinde; birbirleri ile yanal geçiş ilişkisi sunan A, B ve C olmak üzere üç paket ayırmak mümkün olmuştur (bkz. Şekil 3). Bunlar;

A paketi: Ortalama ~200 cm kalınlığında iri-kaba taneli, krem-bej renkli mikro gastropoda ve bivalvia (*Cardium* sp.) içeren altere kumtaşı,

B paketi: Ortalama ~150 cm kalınlığında, yanal olarak 2 m'ye varan kalınlığa ulaşan, bol *Ostrea edulis* kavkıları içeren, ince çakıllı, iri taneli, gri-bej renkli, tabakalanma ya da laminalanma sunmayan iyi çimentolanmış kumtaşı,

C paketi: Ortalama ~100 cm kalınlığında, ince çakıl, iri kum, killi-siltli, gri-bej renkli, aralarında düzensiz-seyrek *Ostrea* sp. kavkısı içeren pekleşmiş kumtaşı seviyesidir.

Bunları, yaklaşık 1m kadar toprak haline gelmiş, serbest çakıllar içeren bitki örtüsü örter.

Özbek sekisinin mutlak yaş verebilecek *Ostrea* kavkı ve sediman numuneleri mollusk-temelli Electron Spin Resonance tarihlendirme tekniği (ESR) ile analiz edilmiştir (Molodkov vd., 1998). Benzer numunelerin yaş tayinine tâbi tutulduğu önceki çalışmalarda (Göksu, Özer ve Çetin, 1990; Taner vd., 1991; Çetin, Çetin ve Ukav, 1995; Engin vd., 2006) da ESR yöntemi başarı ile uygulanmıştır. ESR tarihlendirme metodu, tarihlendirilecek malzemelerde doğal radyasyon tarafından oluşan paramanyetik kusurların zamanla birikimine dayanmaktadır. Numunede radyasyonla indüklenen kusurlara ait ESR sinyal şiddeti kusur yoğunluğu ile orantılı olduğundan, doz-cevap çalışması yapılarak geçmişte numunenin soğurduğu toplam doz (eşdeğer doz) miktarı bulunur. ESR tekniğiyle hesaplanan bu eşdeğer doz ve numunenin bulunduğu ortamdaki farklı yöntemlerle belirlenen yıllık radyasyon dozu kullanılarak yaş hesabı yapılır. ESR tarihlendirme metodu; 0.5 ky ile 2-5 My arasındaki yaşlara sahip numunelerin tarihlendirilmesine imkan sağlaması ve kısa süreli,

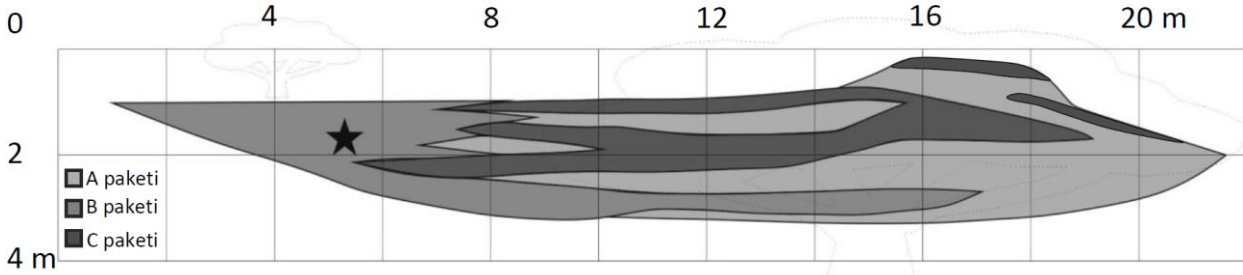
tahribatsız ölçüm avantajları nedeniyle jeolojik numuneler için yaygın olarak kullanılmaktadır (Blackwell vd., 2016). CaCO_3 yapısındaki fosil kavkuları için ESR tarihlendirme çalışmalarında $g=2.0007$ değerine sahip kararlı ve radyasyona duyarlı izotropik CO_2^- radikali başarıyla kullanılmaktadır (Blackwell vd., 2012; Ikeya, 1993, Aydaş vd., 2015).



Şekil 2. Özbek denizel sekisi fotoğrafları. Konumu Özbek köyünün 0.7 km kadar güneyinde olan sekinin haritadaki yeri şekil 1’de gösterilmiştir. A) Fotoğraf B-GB yönüne bakacak şekilde çekilmiştir ve 20 m kadar uzunlukta mostrası olan Özbek sekisinin morfolojideki genel görünümü yer almaktadır. B) Sekinin yakın plan görüntüsü. Sekinin ayrıntılı kesiti şekil 3’te verilmiştir. C) B paketini temsil eden *Ostrea edulis* fosil kavkuları görülmektedir.

Numunelerimizin ESR tarihlendirmesi Estonya Tallinna Teknoloji Üniversitesi Kuvaterner Jeoloji Araştırma Laboratuvarı’nda yaptırılmıştır. Sekideki benzer yerden alınan (bkz. Şekil 3) iki numuneden Bivalvia sınıfına ait *Mytilaster* sp., *Cardium* sp. cinsleri tanımlanan ve cins tanımı yapılmaya müsait olmayan gastropodların da gözlemlendiği ÖT1 (Lab. Kod: RLQG 458-122) kodlu numune 41.3 ± 3.3 ka olarak tarihlendirilmiştir. Analiz edilen bu kavkılar kalsitten müteşekkil olup çok ileri derecede mangan ile kirlenmiş olduğundan tarihlendirmelerde önemli sorunlarla karşılaşmıştır. Sekiye ait fosil kavkılar ve çevrelerindeki sediman numunelerindeki temel sorunun Mn^{2+} sinyallerinin kabuğun yaşı ile ilgili oldukça zayıf radyasyon piklerini maskeleyen olduğu anlaşılmıştır. Kirlenmeden kaçınmak için kavkı ve çevre sedimanlarından, sekinin ön yüzeyini kırarak iç seviyelerden ve laboratuvar tarafından özellikle tarif edildiği şekilde tekrar örnekleme yapılmıştır. ÖT2 (Lab. kod: RLQG 459-024) olarak kodlanan bu ikinci numunenin içinde Bivalvia sınıfına ait *Ostrea edulis* türü tanımlanmıştır. Kirlenme sorununu aşmak için uygulanan aşırı modülasyon (OM), yüksek mikrodalga gücü (HMP) ve hassas detektör faz kayması gibi özel metotlardan faza duyarlı tespit (PSD, phase

sensitive detection) (Molodkov, 1993) tekniği yaşla ilgili radyasyona bağlı bilgiyi alabilme zorluklarını önemli derecede gideremese de radyasyonla ilgili zayıf sinyallerin hassas takibi ile bu numune 16.2 ± 1.8 ka olarak tarihlendirilmiştir (bkz. Tablo 1).



Şekil 3. Özbek denizel sekisi 2'şer metre aralıklarla alınmış 2x2 oranlı kesiti. Haritadaki yeri ve morfolojideki genel görünümü sırasıyla şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir. Kesit G-GB'ya yönüne bakarak çizilmiştir. Birbirleri ile yanal geçiş ilişkisi sunan A, B ve C olmak üzere üç paket mevcuttur. Numuneler (ÖT1 ve ÖT2) bol *Ostrea edulis* kavkısı ile temsil edilen iyi çimentolanmış B paketinden (bkz. Şekil 2) alınmış olup yıldız ile gösterilmiştir. Bu birim birbirleri ile de yanal geçişli olan gri-bej renkli pekleşmiş kumtaşları (C paketi) ve altere kumtaşları (A paketi) ile yanal geçişlidir. Şekil 1 ve 2'de sekinin sırasıyla haritadaki ve morfolojideki yeri gösterilmiştir.

Tablo 1

ESR analiz sonuçları

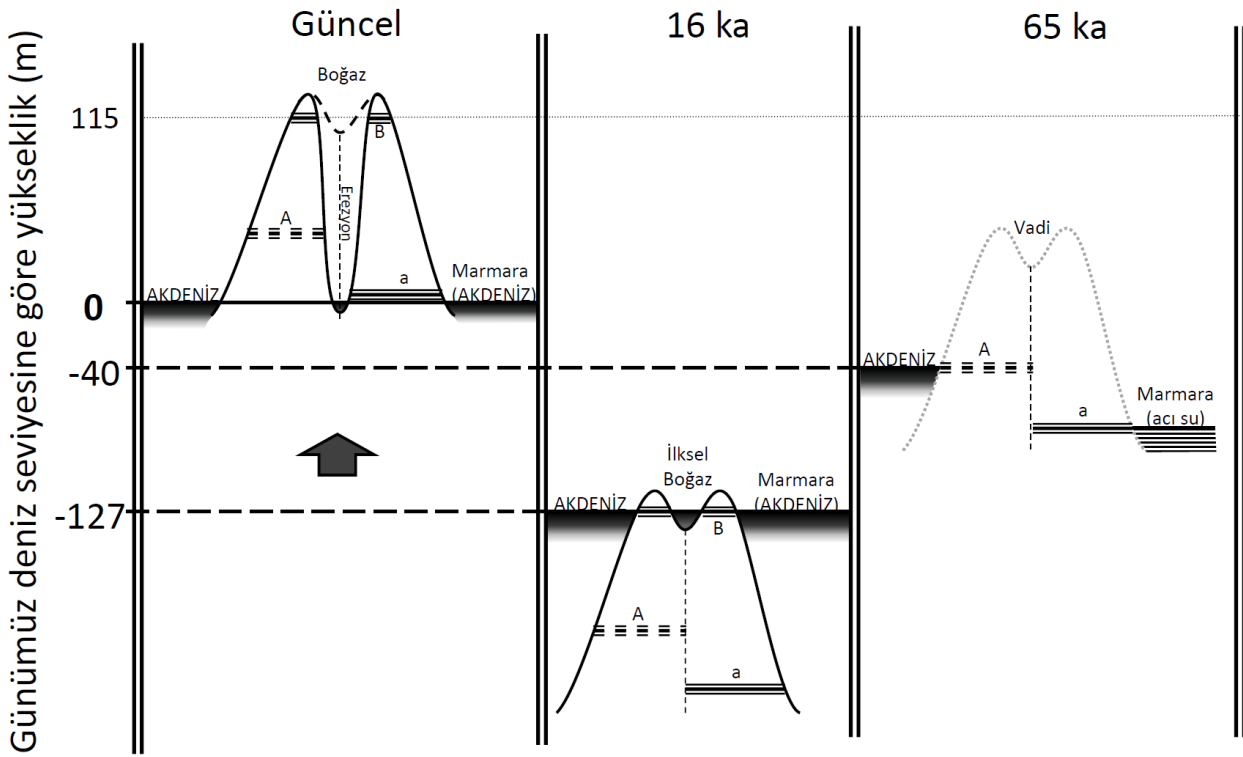
Numune	Lab No.	ESR yaş (ka)	P (Gy)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	DS	H
ÖT1	RLQG 458-122	41.3 ± 3.3	41.0	2.01	1.81	0.40	-52	250
ÖT2	RLQG 459-024	16.2 ± 1.8	15.1	2.13	1.87	0.45	-127	150

P: palodoz, U: uranyum, Th: toryum, K: potasyum, DS: küresel deniz seviyesi, H: seki yüksekliği

3. Sonuçlar ve Tartışma

Yaptığımız çalışmadan elde ettiğimiz ilksel ESR tarihlendirmelerine göre, deniz seviyesinden 115 m yüksekte bulunan Özbek sekisinin içinde olduğu bölgenin en az 16200 yıl kadar önce bulunduğu pozisyondan, o zamandaki -127 m olan deniz seviyesi de (Bailey, 2010; Lambeck vd., 2014) göz önünde bulundurulduğunda, kabaca 250 metre kadar alçakta olduğu anlaşılmaktadır. Özbek sekisinin 5 km kadar uzağında, deniz kenarında bulunan İkiizlerçeşme denizel sekisinden (bkz. Şekil 1) deniz seviyesinden 8 metre yüksekten alınan aragonit deniz kabuğu fosil numunesinin ESR tarihlendirmesi, stratigrafik ve paleontolojik bulgularla uyumlu olarak 65000 ± 7900 yıl olarak tespit edilmiştir (Aydaş vd., 2015). Aynı sekinin 5.5-7.2 metre yükseklik seviye aralığı yaşları ise OSL tekniği ile 240000-127000 yıl olarak önerilmiştir (Avcioğlu vd., 2013). Karadeniz gibi az tuzlu (tuzluluğu %26) bir acı su faunası ile temsil edilen sekinin günümüzdeki konumundan, üst seviyesinin oluştuğu ifade edilen zaman (~65ka) için -40 metre mertebesinde modellenen küresel deniz seviyesi (Bailey, 2010; Lambeck vd., 2014) dikkate alındığında, 48 metre kadar alçakta olduğu hesaplanabilir. Ancak, sekinin denizinin düşük tuzluluğuna işaret eden fosil türlerini içerdiği (Erol ve Nuttall, 1973; Avcioğlu vd., 2013) göz önüne alındığında küresel deniz seviyesini temsil eden denizlerle, diğer bir deyişle tuzluğu %30'u aşan Akdeniz ile, en azından tam olarak bağlantılı olmadığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple, bu dönemde (65 ka) sekinin oluşumuna sebep olan az tuzlu deniz seviyesinin küresel seviyeler (Akdeniz'e) göz önüne alındığında daha aşağıda olduğu düşünülebilir (bkz. Şekil 4). Dolayısıyla miktarı tahmin edilememekle birlikte sekinin oluştuğu zamandan bu yana 48 metreden daha çok yükselmiş olabileceği dolayısıyla sekinin henüz tahminde bulunamadığımız daha düşük bir seviyede oluşmuş olabileceği de göz ardı edilmemelidir. Ancak, her iki seki

için eldeki yaş verilerini karşılaştırdığımızda İkizlerçeşme sekisini oluşturan bağımsız denizin açık denizlerle, muhtemelen Çanakkale boğazı yolu ile, bağlantısının İkizlerçeşme sekisinin oluşumundan sonra gerçekleştiği söylenebilir (bkz. Şekil 4). Eldeki verilere göre bugün bulunduğu konumundan 250 metre kadar aşağıda oluştuğunu sandığımız Özbek sekisinin, barındırdığı Akdeniz faunası göz önünde bulundurulduğunda, boğaz bağlantısının günümüzden 16200 ± 1800 yıl önce artık gelişmiş olduğu söylenebilir (bkz. Şekil 4). 65 ka ile bağlantının tesis edilmiş olduğu zaman arasındaki bir dönemde, bu bağlantı kurulduğunda açık denizlerle bağlantılı Akdeniz suyu yüksek debili akışı ile katastrofik bir biçimde, belki de o zaman yapısal zonları takip eden bir nehir vadisi durumunda olan, Çanakkale boğazı (Arpat ve Şentürk, 2000; Gökaşan vd., 2010) eşliğini aşıp geçerken boğazın tabanını kazımış ve derinleştirmiş olmalıdır. Bir taraftan bölge 16 ka'dan bugüne kadar, jeodinamik olaylarla, 250 metre yükselirken diğer taraftan boğaz tabanının tıpkı gömük menderesli akarsularda olduğu gibi derine kazıldığı ve bu arada boğazın geçit özelliğini muhafaza ettiği düşünülmektedir (bkz. Şekil 4).



Şekil 4. Düşey kabuk hareketlerinin deniz seviyesi değişimleri ve denizel seki yaş ve konumlarına göre modeli. Üç paralel yatay çizgi, denizel taraçayı; A ve B, sırasıyla 65 ve 16 ka'da açık denizlerle bağlantılı kıyılarda oluşmuş taraçaları; a, denizlerle bağlantısı olmayan (az tuzlu) Marmara kıyısında acı-su fasiyesinde oluşmuş İkizlerçeşme taraçasını temsil etmektedir. Üç paralel kesikli yatay çizgi (A) 65 ka'da acı su denizi ile Akdeniz arasındaki eşğin Akdeniz tarafındaki kıyılarında oluşmuş olması muhtemel taraçaları temsil etmektedir. 65 ka'da Marmara denizinin seviyesi bilinmemekte olduğu için bölgenin düşey pozisyonu temsili olup (gri noktalı çizgi) sadece Çanakkale boğazı bağlantısının henüz gelişmemiş olduğunu göstermektedir. 16 ka'da Akdeniz ile Marmara denizi arası boğaz bağlantısı kurulmuş günümüze kadar hem bölge hem de deniz seviyesi sırasıyla 242 ve 127 m yükselmiştir. Aradaki 115 m fark kadar boğaz derine kazılmış ve bugünkü halini almıştır. Özbek deniz sekisi (B) 16 ka'daki deniz seviyesinde oluşumundan bu yana o seviyeye göre 242 m yükselmiş olup o dönemden buyana deniz seviyesinin yükselimi sonucunda bugün denizden 115 m yüksekte görülmektedir.

Fauna ve jeomorfoloji değerlendirmelerine göre (Taner, 1981) 65 ka – 16 ka arasında boğaz bağlantısı birkaç kez tesis edilmiş de olabilir. Ancak, bu değerlendirmelerin netleşmesi ve göz önüne alınabilmesi için Çanakkale boğazı boyunca yer alan sekilerde mutlak yaş tarihlendirmelerine gereksinim vardır. Bölgesel yükselmenin coğrafi sınırları ve zaman içindeki değişimi boğaz ve Gelibolu yarımadası ve hatta Marmara kıyılarındaki az tuzlu deniz faunası yayılımı ile de tutarlılığı tetkik edilecek şekilde daha kapsamlı çalışmalarda ele alınmalıdır. Henüz kısıtlı verilerle kurabildiğimiz çalışmamızdaki ilksel modelin tutarlılığının başka verilerle de denetlenmesi ve sekilerdeki paleontolojik bulgularla uyum göstermiş olan daha ziyade ESR gibi yaş tayinlerinin, kaybolmuş ve her geçen gün kaybolmakta olan bu ve boğaz boyunca nadir olarak görülebilen diğer sekilerde, ivedi olarak artırılması ve mangan kirliliği durumunda bunun gibi sakıncalardan kaçınmak ve tarihlendirme güvenilirliğini artırmak için ESR yaş tayinleri dışında IR-OSL (infrared optically-stimulated luminescence) ve Aydaş vd. (2015)'nin de vurguladığı üzere $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ gibi başka tekniklerin de uygulanması yerinde olacaktır. Diğer taraftan, Çanakkale boğazı boyunca boğazın her iki yakasında bulunabilecek ve bir örneği Özbek köyünde görülmüş olan, Pleyistosen yüksek denizel sekileri ayrıntılı olarak araştırılmalıdır.

Çalışmamızda öne sürdüğümüz gibi bölgenin bugün yükselmiş konumda bulunması bölgenin kabuğunun yine, yükselmenin göstergesi olan pozitif gravitasyonel dengesizlik içinde bulunduğu (Klinge ve Medici 1997) gerçeği ile uyum içerisindedir. Bundan dolayı, gravitasyonel anomaliye göre dengenin sağlanabilmesi için bölgenin 300 m'den fazla çökmesi gerekir. Kabuk altındaki yüksek sıcaklıktaki astenosferin varlığı (Ligdas ve Main, 1991) ve yukarı yönlü hareketi, bu sıcaklığın sebep olduğu yüksek ısı akısı (Tezcan vd., 1995), jeotermal etkinlik ve bunların kimyasal içeriği ve bu duruma özgü bazalt volkanizması (Mutlu, Güleç ve Hilton, 2008) ile birlikte bu dengesizlik birçok çalışmaya göre tüm Batı Anadolu için geçerlidir (Komut vd., 2012). İzostatik dengesizlik durumunun ve beraberindeki bununla ilgili olabilecek jeomorfolojik ve jeolojik hadiselerin en azından tüm Batı Anadolu gibi geniş bir alanda görülmesi bu ilginç durumun kaynağının litosfer-altı derinliklerde aranması gerektiği görüşünü (Komut vd., 2012) destekler. Diğer taraftan, hiçbir aktif tektonik çalışmada çevrede, burayı yükseltecek uzaktaki bir fayın transpresyonal etkisi ile gelişmiş, eğim atımlı diri bir fay ya da kıvrımın bulunduğu değerlendirilmemiştir. Yükselmenin doğrudan faylar tarafından olmadan da sağlanabileceği bölgenin sismik tehlike hesaplarında göz önünde bulundurulmalıdır. Kabuğun yüzdürülme dengesinin ifadesi olan izostatik pozitif yönde dengesizlik göstermesi bölgenin epirojenik olarak yükseldiğini göstermektedir ki; bu, ürünleri birçok farklı veri cinsi ile tutarlı olarak ortaya konmuş, sıcak bir manto zonunun yukarı yönlü konveksiyonu ile sağlanabilir (Komut vd., 2012). Yer kabuğunun altındaki bu yukarı yönlü astenosferik akımın etkilerinin, araştırmanın alanının içinde olduğu geniş bir bölgenin yükselmesine sebep olduğu ve bölgenin yükselmesinin de bölgedeki deniz kıyısında oluşan denizel fosilli birimleri bölgeyle beraber yükseklerle taşıyıp bölgedeki denizel sekilerin gelişimine sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma FBA-2014-166 kodlu proje kapsamında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversite Araştırma Fonu tarafından kısmen desteklenmiştir. Bu çalışmada bu projenin bir kısmı değerlendirilmiştir. Numunelerin ESR tarihlendirilmeleri A. Molodkov tarafından Estonya Tallinna Teknoloji Üniversitesi Kuvaterner Jeoloji Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Esen Arpat'a çalışmanın kritik aşamalarındaki yönlendirme ve önemli eleştirileri için teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Tolga Komut: Bulguların değerlendirme ve yorumlarını yapmış, model oluşturmuştur.

Sevinç Kapan: Numune toplamış. Bunların ve içlerinde bulunduğu istiflerin tanımlama ve analizlerini yapmış. Yorum ve modelleri gözden geçirip verilerle tutarlılığını denetlemiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Ardel, A. ve İnandık, H. (1957). Marmara Denizi'nin teşekkül ve tekamülü. *Türk Coğrafya Dergisi*, 17, 1-19.
- Arđos, M. (1995). Türkiye Ovalarının Jeomorfolojisi, cilt 1, 2. baskı, Çantay Kitabevi, İstanbul. ISBN: 9757206032
- Arıç, C. (1955). *Haliç ve Küçükçekmece Gölü bölgesinin Jeolojisi* (Yayımlanmamış doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Arpat, E. (1976). Doğal Uzanım Açısından Ege Denizinin Jeolojik Yapısı. *Yeryuvarı ve İnsan*, 1(4), 15-19.
- Arpat, E. ve Bingöl, E. (1969). Ege Bölgesi Graben Sisteminin Gelişimi Üzerine Düşünceler. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 73, 1-10.
- Arpat, E. ve Şentürk, K. (2000). Marmara Denizi'nin Gelişimi. *Marmara Denizi 2000 Sempozyumu (11-12 Kasım 2000)*, (pp. 231-237), İstanbul, Türkiye.
- Aldanmaz, E., Gourgaud, A. ve Kaymakçı, N. (2005). Constraints on the composition and thermal structure of the upper mantle beneath NW Turkey: Evidence from mantle xenoliths and alkali primary melts. *Journal of Geodynamics*, 39, 277-316. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2005.01.002>
- Aydaş, C., Engin, B., Kapan Yeşilyurt, S., Komut, T., Aydın, T. ve Paksu, U. (2015). Dose estimation kinetics and dating of fosil marine mollusc shells from Northwestern part of Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 105, 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.07.053>
- Avcıoğlu, M., Erginal, A. E., Kıyak, N. G. ve Yiğitbaş, E. (2009). Çanakkale Boğazı'ndaki Denizel Taraçaların Çökeltme Nitelikleri ve Mutlak Yaşları. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 13. Çalıştayı (ATAG 13, 08-11 Ekim 2009) Bildiri Özetleri Kitabı*, (pp. 8), Çanakkale, Türkiye.
- Avcıoğlu, M., Erginal, A. E., Kıyak N. G., Kapan-Yesilyurt S. ve Yiğitbaş E. (2013). A Preliminary Note on Depositional Characteristics and Optical Luminescence Age of a Marine Terrace, Strait of Canakkale, Turkey. *Journal of Coastal Research*, 29, 225-230. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00235.1>
- Bailey G. (2010). The Red Sea, Coastal Landscapes, and Hominin Dispersals. In: M. Petraglia, J. Rose (Ed.), *The Evolution of Human Populations in Arabia. Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology. Springer, Dordrecht*. Print ISBN 978-90-481-2718-4. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2719-1_2
- Blackwell B. A. B., Skinner A. R., Mashriqi F., Deely A. E., Long R. A., Gong J. J. J., Kleindienst M. R. and Smith J. R. (2012). Challenges in constraining pluvial events and hominin activity: Examples of ESR dating molluscs from the Western Desert, Egypt, *Quaternary Geochronology*, 10, 430-435. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2012.01.005>
- Blackwell B. A. B., Skinner A. R., Blickstein J. I. B., Montoya A. C., Florentin J. A., Baboumian S. M., Ahmed I. J. and Deely A. E. (2016). ESR in the 21st century: From buried valleys and deserts to the deep ocean and tectonic uplift, *Earth-Science Reviews*, 158, 125-159. <https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2016.01.001>
- Chaput, E. (1947). Türkiyede jeolojik ve jeomorfojenik tetkik seyahatleri. Çev. A. Tanoğlu, İstanbul Üniversitesi.
- Çetin, O., Çetin, T. ve Ukav, İ. (1995). İzmit Körfezi (Hersek Burnu - Kaba Burun) Kuvaterner İstifinde Gözlenen Mollusk Kavkılarının Elektron Spin Rezonans (ESR) Yöntemi İle Tarihlendirilmesi, In E. Meriç (Ed.), *İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi* (pp. 269-275).
- Çoban, H. (2007). Basalt magma genesis and fractionation in collision- and extension-related provinces: A comparison between eastern, central and western Anatolia. *Earth-Science Reviews*, 80, 219-238. <https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2006.08.006>
- Engin, B., Kapan-Yesilyurt, S., Taner, G., Demirtaş, H. ve Eken, M. (2006). ESR dating of Soma (Manisa, West Anatolia – Turkey) fossil gastropoda shells. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 243(2), 397-406. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2005.09.008>
- Erol, O. ve Nuttall, C. P. (1973). Çanakkale Yöresinin Bazı Denizel Kuvaterner Depoları. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 5(6), 1-91.
- Erol, O. ve İnal, A. (1980). Çanakkale Yöresi Karacaviran Köyü Çevresindeki Kuvaterner Depoları ve Denizel Fosilleri. *Jeomorfoloji Dergisi*, 9, 1-36.
- Göktaşan, E., Tur, H., Engin, M., Görüm, T., Batuk, F. G., Sağcı, N., Ustaömer, T., Emem, O. ve Alp, H. (2010). Late Quaternary evolution of the Çanakkale Strait region (Dardanelles, NW Turkey):

- implications of a major erosional event for the postglacial Mediterranean-Marmara Sea connection. *Geo-Marine Letters*, 30(2), 113-131. <https://doi.org/10.1007/s00367-009-0166-2>
- Göksu, H. Y., Özer, A. M. ve Çetin, O. (1990). İstanbul Boğazı Güneyi ve Haliç in Geç Kuvaterner (Holosen) Dip Tortulları: Mollusk Kavkılarının Elektron Spin Rezonans (ESR) Yöntemi ile Tarihlendirilmesi, In E. Meriç (Ed.), *İstanbul Boğazı Güneyi ve Haliç in Geç Kuvaterner (Holosen) Dip Tortulları* (pp. 95-97).
- Gutzwiller, O. (1923). *Beitrage zur Geologie der Umgebung von Merefte (Mürefte) am Marmara Meer* (Yayımlanmamış tez). Basel Üniversitesi, İsviçre.
- Ikeya, M. (1993). New Applications of Electron Spin Resonance Dating Dosimetry and Microscopy, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. ISBN:981-02-1199-6.
- Kapan-Yeşilyurt, S., Taner, G. ve İslamoğlu, Y. (1997). Marmara Denizi Tortullarının Kuvaterner Mollusk Faunası (Türkiye). *Yerbilimleri Dergisi*, 30, 217-229.
- Kapan-Yeşilyurt, S., Taner, G. ve Okan, Y. (2000). Marmara Denizi Holosen Tortullarının Mollusk Faunası Kataloğu (Türkiye), Ankara Üniversitesi Araştırma Projesi Raporu.
- Kapan-Yeşilyurt, S. ve Taner, G. (2002). Datça Yarımadasının Geç Pliyosen Pelecypoda ve Gastropoda Faunası ve Stratigrafisi (Muğla-Güneybatı Anadolu). *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 125, 89-120.
- Klingele, E. ve Medici, F. (1997). Gravimetric Studies of the Marmara Sea Region. In C. Schindler, C. and M. Pfister, (Ed.), *Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project*, (pp. 487-501).
- Komut, T. ve Kapan-Yeşilyurt, S. (2010). Çanakkale’de ortaya çıkan yüksek deniz sekileri ve bunların jeodinamik anlamları. In, *Türkiye 19. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi (23-26 Kasım 2010), Genişletilmiş Özet*, Ankara, Türkiye.
- Komut, T., Gray, R., Pysklywec, R. ve Göğüş, O. (2012). Mantle flow uplift of western Anatolia and the Aegean: Interpretations from geophysical analyses and geodynamic modeling. *Journal of Geophysical Research*, 117(B11), B11412. <https://doi.org/10.1029/2012JB009306>
- Lambeck, K., Rouby, H., Purcell, A., Sun, Y. ve Sambridge, M. (2014). Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 111(43), 15296-15303. <https://doi.org/10.1073/pnas.1411762111>
- Ligdas, C. N., Main, I.G. ve Adams, R. D. (1990). 3-D Structure of the Lithosphere in the Aegean Region. *Geophysical Journal International*, 102, 219-229. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1990.tb00543.x>
- Ligdas, C. N. ve Main, I. G. (1991). On the Resolving Power of Tomographic Images in the Aegean Area. *Geophysical Journal International*, 107, 197-203. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb01168.x>
- Meriç, E., Sakinç, M., Özdoğan, M. ve Açıktur, F. (1988). Yarımburgaz Mağarası kazılarında gözlenen mollusk kavkıları hakkında. *Arkeoloji ve Sanat Dergisi*, 40/41, 27-31.
- Meulenkamp, J. E., Wortel, M. J. R., Van Wamel, W. A., Spakman, W. ve Hoogerduyn Strating, E. (1988). On the Hellenic Subduction Zone and the Geodynamic Evolution of Crete since the Late Middle Miocene. *Tectonophysics*, 146, 203-215. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(88\)90091-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(88)90091-1)
- Molodkov, A. (1993). ESR-dating of non-marine mollusc shells. *Applied Radiation and Isotopes*, 43, 145-148. [https://doi.org/10.1016/0969-8043\(93\)90209-S](https://doi.org/10.1016/0969-8043(93)90209-S)
- Molodkov, A., Dreimanis, A., Âboltiöd, O. ve Raukas, A. (1998). The ESR age of Portlandia arctica shells from glacial deposits of Central Latvia: an answer to a controversy on the age and genesis of their enclosing sediments. *Quaternary Science Reviews*, 17(11), 1077-1094. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(98\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(98)00030-4)
- Mutlu, H., Güleç, N. ve Hilton, D. R. (2008). Helium-carbon relationships in geothermal fluids of western Anatolia, Turkey. *Chemical Geology*, 247(1-2), 305-321. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.10.021>
- Nevekkaya, L. A. (1963). Bestimmungstabella zweiklappiger mollusken mariner Quartarsedimentedes Schwartzmeerbeckens. Akademie der Wissenschaften SSSR Arbeiten des Palaontologischen Institutes Bd. 96, Moscow, pp 1-211.
- Newton, R. B. (1904). Notes on the post-Tertiary Fossils obtained by Col: English from district surrounding the Dardanelles, Quarterly. *Journal of the Geological Society*, 60, 227-292. <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1904.060.01-04.22>
- Özelçi, H. F. (1973). Doğu Akdeniz Bölgesi Gravite Anomalileri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 80, 54-89.
- Paluska, A. ve Bargu, S. (1989). Tectonics, Paleoseismic Activity and Recent Deformation Mechanisms in the Sapanca - Abant - Region (NW Turkey, North Anatolian Fault Zone), Turkish - German Earthquake Research Project (Zschau and Ergünay), 18-33.

- Pondard, N., Armijo, R., King, G. C. P., Meyer, B. ve Flerit, F. (2007). Fault interactions in the Sea of Marmara pull-apart (North Anatolian Fault): earthquake clustering and propagating earthquake sequences. *Geophysical Journal International*, 171, 1185–1197. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03580.x>
- Poppe, G. T. ve Goto, Y. (1991). European Seashells (Polyplacophora, Caudofoveata, Solenogastrea, Gastropoda). Vol: 1, Wiesbaden/Verlag Christa Hemmen. pp: 352.
- Poppe, G. T. ve Goto, Y. (1993). European Seashells (Scaphopoda, Bivalvia, Cephalopoda), Vol: 2, Wiesbaden/Verlag Christa Hemen. pp: 221.
- Sakınç, M. ve Yaltrak, C. (1997). Güney Trakya Sahillerinin Denizel Pleyistosen Çökelleri ve Paleocoğrafyası. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 119, 43-62.
- Sevinçer, N. (1998). *Marmara Denizi Güneybatısı (Erdek Körfezi'nde) Dip Çökellerinin Kuvaterner Mollusk Faunası*, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Ankara Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Ankara, Türkiye.
- Spakman, W. (1986). Subduction Beneath Eurasia in Connection with the Mesozoic Tethys. *Geologie en Mijnbouw*, 65, 145-153.
- Straub, C. ve Kahle, H-G. (1997). GPS and geologic estimates of the tectonic activity in the Marmara Sea region, NW Anatolia. *Journal of Geophysical Research*, 102(B12), 27587-27601. <https://doi.org/10.1029/97JB02563>
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. and Kuşçu, İ. (1992). Türkiye Diri Fay Haritası., M.T.A. Genel Müdürlüğü.
- Şentürk, K. ve Karaköse, C. (1987). Çanakkale Boğazı ve Dolayının Jeolojisi. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- Taner, G. (1981). Gelibolu Yarımadasının Kuvaterner Molluskaları. *Jeomorfoloji Dergisi*, 10, 71-115.
- Taner, G. (1983). Gelibolu Yarımadası Hamzakoy Formasyonunun Çavda (Baküniyen) Gastropoda'ları. *Jeoloji Mühendislik Dergisi*, 7(2), 55-61.
- Taner, G., Ünsal, İ., Özer, A. M., Göksu, Y. ve Çetin, O. (1991). İstanbul Boğazı Pelecypod - Gastropod ve Bryozoa Faunası ile Mollusk Kavkılarının ESR Yöntemine Dayanarak Tarihlendirilmesi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 6, 3-19.
- Tezcan, A. K. (1995). Geothermal explorations and heat flow in Turkey. In M. L. Gupta ve M. Yamano (Ed.), *Terrestrial Heat Flow and Geothermal Energy in Asia* (pp. 23–42), Oxford and IBH Publ., New Delhi, India.



O-C Analysis of Algol-type Eclipsing Binary UU And

Oğuz Öztürk^{1,2,*}

¹Astrophysics Research Centre and Observatory, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

² Department of Physics, Faculty of Arts and Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 19.03.2020

Accepted: 15.09.2020

Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – Using all available minimum times of Algol-type eclipsing binary UU And, Observed(O) - Calculated (C) based orbital period analysis of UU And is presented in this study. O-C diagram of UU And is represented by cyclic variation superimposed on an upward parabolic variation. The upward parabolic variation was modelled by assuming non-conservative mass transfer from the less massive to the more massive component to explain the secular period increase of the system. The rate of fractional mass transfer (β) was calculated to be 0.947. Cyclic O-C variation at period of 14 years was detected in the diagram. Light travel time effect (LTTE) caused by additional body in the system was assumed in order to explain the cyclic O-C variation. Using the mass function obtained from O-C analysis, the possible mass of the third component was found to be in the order of solar mass. Such a massive additional body show itself distinctly in the light curve of UU And. On the contrary, no light contribution from an additional body has been detected in the literature so far. Therefore, we conclude that precise high resolution spectroscopic observations are required in order to clarify the existence of a third body and/or magnetic cycle, which may also give rise to cyclic O-C variation in the binary star system.

Keywords – Techniques: photometric, stars: individual: UU And, eclipsing binary star systems.

1. Introduction

According to the catalogue presented by Brancewicz & Dworak (1980), UU And (TYC 2275-911-1, 2MASS J00434508+3056197) is a semidetached Algol-type eclipsing binary star system consisting of a F5 type primary and K5IV type secondary components.

Up to the present, O-C based orbital period analysis studies have only been presented by Qian (2001) and Manzoori et al. (2015). Qian (2001) made a period analysis of UU And using 150 visual and photographic primary minimum times. Qian (2001) suggested secular period decrease. Rate of the period decrease was calculated to be -4.76×10^{-7} days/yr. Secular mass and angular momentum loss were suggested as possible mechanisms of the orbital period decrease. Manzoori et al. (2015) re-examined the O-C changes of UU And with 183 minimum times observed from 1911 to 2008. Out of 183, 36 were photoelectric (Pe) minimum times observed under the WASP survey (Pollacco et al., 2006). Manzoori et al. (2015) proposed secular orbital period increase at rate of 4.63×10^{-7} days /yr. Secular mass transfer between components was attributed by Manzoori et al. (2015). Manzoori et al. (2015) also detected a cyclic O-C change over a period of 18 yr, suggesting that magnetic activity in the system was the most plausible mechanism responsible for the cyclic O-C change.

As seen above, there are two incompatible results in the literature obtained from O-C based orbital period analysis of UU And. However, 27 CCD and Pe minimum times have been published since 2008. Therefore, it is necessary to re-investigate the O-C variation of UU And using precise new CCD and Pe times along with

¹  oguzozturk@comu.edu.tr

*Corresponding Author

previously published minimum times. We present a more recent O-C analysis of UU And using all minimum times published in the literature so far. The minimum times used in our analysis were observed from 1911 to 2018.

2. Materials and Methods

Firstly, all available minimum times were collected from the literature. Our observational data covers 174 visual, 5 photographic and 78 CCD & Pe minimum times of UU And, which were observed from 1911 to 2018.

O-C variation of UU And was re-examined using the weighted O-C method. During the analysis, since the precision of observed minimum times is dependent on the type of observation, 1 weights are given to visual observations, 5 weights are given to photographic observations and 10 weights were given to CCD & Pe observations.

O-C values were calculated using the linear light element equation below, where the orbital period ($P = 1^d.486324$) was taken from Kreiner (2004) and the conjunction time ($T_0(\text{HJD}) = 2441650.338$) is a primary minimum time in our minimum time data set.

$$C_1 = \text{HJD } 2441650.338 + 1^d.486324 \times E \tag{2.1}$$

Upward parabolic change is detected in the diagram of UU And (see Figure 1). To find the quadratic ephemeris of the system, the MATLAB code presented by Zasche et al. (2009) was used. Then the ephemeris was derived as follows:

$$C_2 = \text{HJD } 2441650.3132(22) + 1^d.4863031(3) \times E + 3^d.74(21) \times 10^{-10} \times E^2 \tag{2.2}$$

The positive quadratic term $Q=3^d.74(21) \times 10^{-10}$ days gives the rate of period increase to be $\dot{P} = 0.016(6)$ s/yr. Discussion of the secular period increase is presented in the final section of this paper.

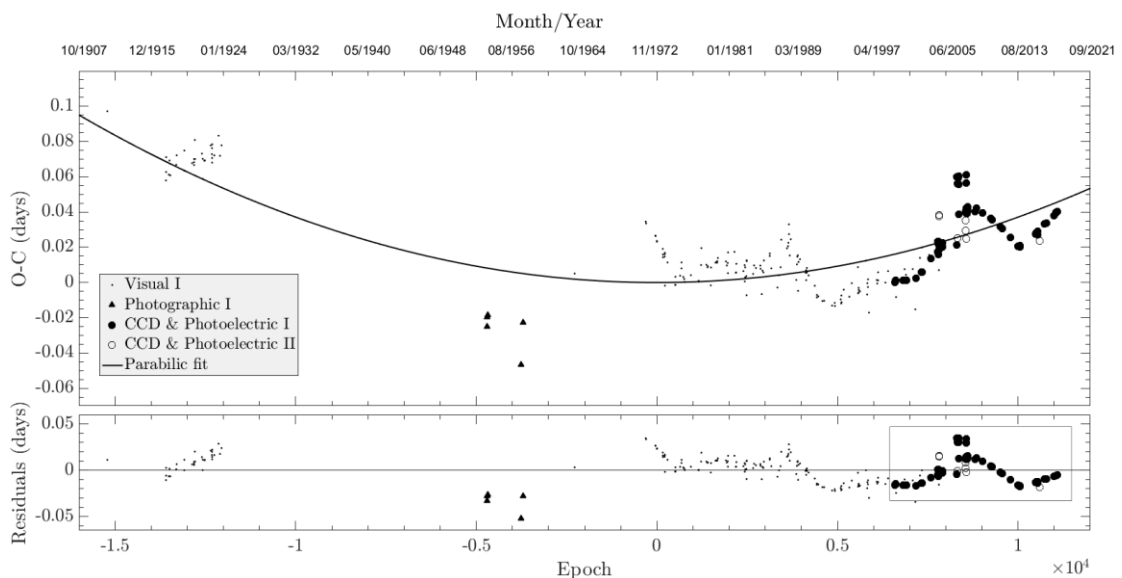


Figure 1. O-C variation of UU And. Solid line in upper panel represents parabolic fit obtained. Residuals are shown in lower panel of diagram.

As is seen from the residuals, O-C data also show sinusoidal period oscillation. The light-time effect (LTTE) caused by additional body may give rise to this cyclic variation. Figure 1 shows a 48-year gap from 1924 to 1972. In addition to this, most of the data before 2005 is visual and photographic. Therefore, in order to examine the sinusoidal variation accurately, we decided to use only CCD and Pe data, which can be seen in the box in the residuals. The LTTE equation (Irwin, 1959) given below was fitted using the MATLAB code presented by Zasche et al. (2009), where Δt , a_{12} , c , i_{12} , e_{12} , ω_{12} , and ν_{12} are, respectively, the time delay due to LTTE, semi-major axis of the additional body, speed of light, orbital inclination of additional body, eccentricity of the additional body, longitude of periastron, and the true anomaly.

$$\Delta t = \frac{a_{12} \sin i_{12}}{c} \left\{ \frac{1 - e_{12}^2}{1 + \cos \nu_{12}} \sin(\nu_{12} + \omega_{12}) + e_{12} \cos \omega_{12} \right\} \tag{2.3}$$

Sinusoidal variation of the CCD and Pe O-C residuals together with the best theoretical LTTE model is given in Figure 2.

Results of our O-C analysis are given in Table 1. In this table, $f(M)$, which is defined in equation (2.4), is well-known mass function of the triple system calculated from our analysis.

$$f(M) = \frac{M_3^3 \sin^3 i_{12}}{(M_1 + M_2 + M_3)^2} = \frac{a_{12}^3 \sin^3 i_{12}}{P_{12}^2} \tag{2.4}$$

Here, P_{12} is the period of the additional body and M_3 is the mass of the additional body. Units of P_{12} and M_3 are years and stellar mass, respectively. Detailed discussion on the LTTE is presented in the last section of this paper.

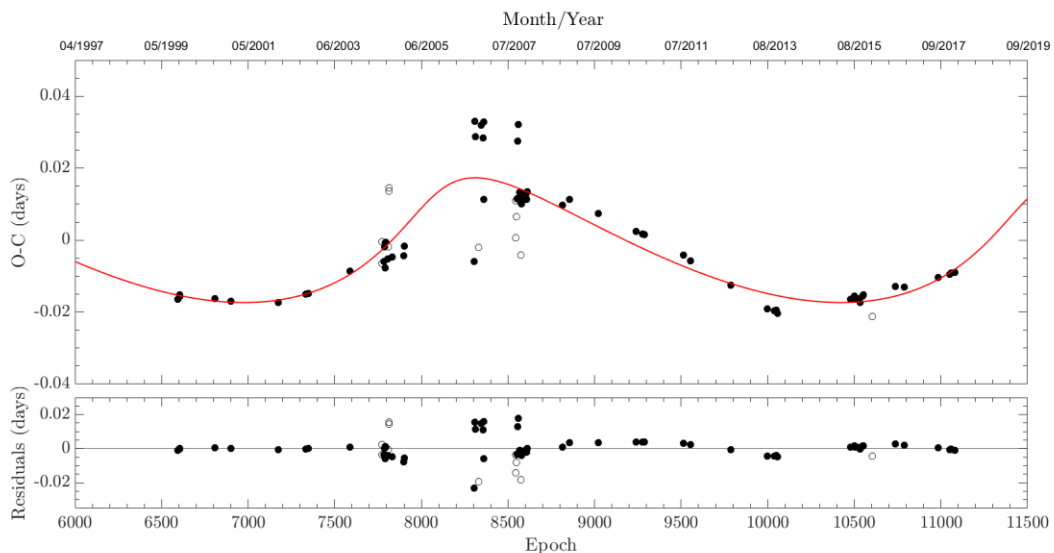


Figure 2. LTTE effect of CCD and Pe O-C data on UU And. Solid red line represents best LTTE model obtained from O-C analysis. Lower panel shows residuals from theoretical curve.

Table 1

Parameters obtained from O-C analysis of UU And.

Parameter	Value
T_0 (HJD)	2441650.3132(0.0022)
P (days)	1.4863031(0.0000003)
$Q \times 10^{-10}$ (days)	3.74(0.21)
A (days)	0.017(0.002)
$a_{12} \sin i_{12}$ (AU)	3.24(0.26)
e_{12}	0.49(0.12)
ω_{12} ($^\circ$)	40(25)
P_{12} (years)	14.04(0.61)
$f(M)$ (M_\odot)	0.173(0.037)
$M_3(M_\odot)$ for $i_{12} = 90^\circ$	1.34(0.13)
$M_3(M_\odot)$ for $i_{12} = 60^\circ$	1.62(0.15)

3. Results and Discussion

The recent O-C analysis of UU And is presented in this study. We found that orbital period of UU And is increasing at a $\dot{P} = 0.016(6)$ s/yr rate (see Section 2). Manzoori et al. (2015) suggested possible magnetic activity in the system since the system consists of a F5 type primary and K5IV type secondary. Therefore, a possible mechanism, which produces upward parabolic variation, may be non-conservative (or Alfvén driven) mass transfer between components since some fraction of the total mass can be lost from UU And via magnetic winds (Tout & Hall 1991). In this case, we followed the procedure presented by Erdem & Öztürk (2014) to explain the observed period increase of UU And and used the equations below.

$$\frac{\dot{P}}{P} = \left\{ 2 \left\{ \frac{10R_2}{d} \right\} \frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2} - \frac{2}{M_1 + M_2} \right\} \dot{M} + 3 \frac{(M_1 - M_2)}{M_1 M_2} \dot{M}_2 \quad (3.1)$$

$$\dot{M} \leq (1 - \beta) \dot{M}_2 = \frac{(\beta - 1)}{\beta} \dot{M}_1 \quad (3.2)$$

where M_1 , M_2 , R_2 , d , $\dot{M} < 0$, $\dot{M}_1 > 0$, $\dot{M}_2 = \dot{M} - \dot{M}_1 < 0$ and β ($0 < \beta < \beta_{cri}$, (β_{cri} is the maximum possible value of the fractional mass transfer rate for systems showing period increase)) are: masses of primary and secondary components, radius of secondary component, distance between components, mass loss rate from UU And, rate of mass transfer, mass loss rate from less massive component, and the fractional mass transfer parameter, respectively. Term $10R_2$ in Eq. (3.1) represents the approximate value of Alfvén radius (Tout & Hall 1991) for Alfvén driven mass transfer in Algols (Erdem & Öztürk 2014). β_{cri} was calculated from Eq. (3.1) and Eq. (3.2) to be 0.947. In this calculation, while $\dot{P} = 0.016(6)$ s/yr and $P = 1.4863031(3)$ days are taken from the results of O-C analysis in this study, $M_1 = 1.62(1) M_\odot$, $M_2 = 0.76(24) M_\odot$ and $R_2 = 2.28(54) R_\odot$ are taken from Manzoori et al. (2015), and $d = 7.23$ AU is taken from Brancewicz & Dworak (1980). Figure 3 shows the change in the fractional mass transfer rate (β) with respect to \dot{M}_2 .

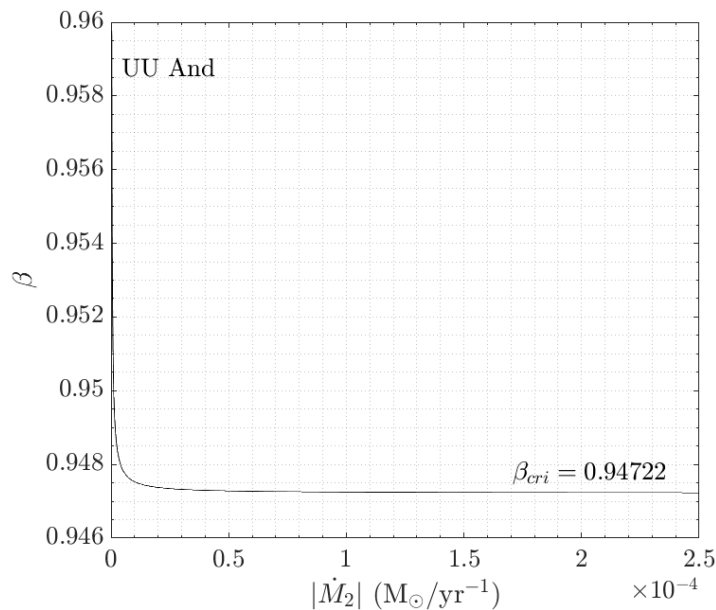


Figure 3. Change in fractional mass transfer rate (β) with respect to \dot{M}_2 .

By assuming non-conservative mass transfer and using Eqs. (3.1) and (3.2), the rate of transferred mass and that of mass loss from UU And was calculated in the interval of $10^{-4} - 10^{-8}$ and $10^{-6} - 10^{-14}$ M_{\odot}/yr , respectively.

After subtracting parabolic variation from the O-C dataset, we detected clear sinusoidal variation in the O-C residuals (see lower panel of Figure 1). This cyclic variation was also investigated by Manzoori et al. (2015). They used minimum times observed from 1911 to 2008 and their O-C dataset was mostly visual and photographic. Since 27 new CCD and Pe minimum times have been published since 2008, we re-examined this cyclic variation with only CCD and Pe minimum times, which can be seen in the box in the lower panel of Figure 1. Our analysis is more precise than that of Manzoori et al. (2015) as we used more precise minimum times in order to model the cyclic O-C variation of UU And.

A sinusoidal O-C variation of UU And was also detected (see Section 2). The period, amplitude of cyclic variation and mass function were found to be $0.017(\pm 0.002)$ days, $14.04(\pm 0.61)$ yr and $0.173(\pm 0.037)$ M_{\odot} , respectively. Mass of the additional body was calculated to be $1.34(\pm 0.13)$ M_{\odot} for $i_{12} = 90^{\circ}$ and $1.62(\pm 0.15)$ M_{\odot} for $i_{12} = 60^{\circ}$ using equation (2.4) (see Section 2). The light contribution of such a massive additional body show itself distinctly in the light curve of UU And. Unfortunately, no light contribution from a hypothetical third body was detected by Manzoori et al. (2015) when they analyzed the light curve of UU And. Due to this situation existing of a third body in the binary star system is not clear. Another possible mechanism which gives rise to cyclic O-C variation may be magnetic activity in the system. In this case, the O-C diagram should show perfectly sinusoidal variation over time. On the contrary, our analysis show that the variation is not perfectly sinusoidal, i.e. $e = 0.49$ (see Table 1). Therefore, in order to be certain about the existence of an additional body and/or possible magnetic cycle in the system, precise new minimum times and spectroscopic observations of the system are required.

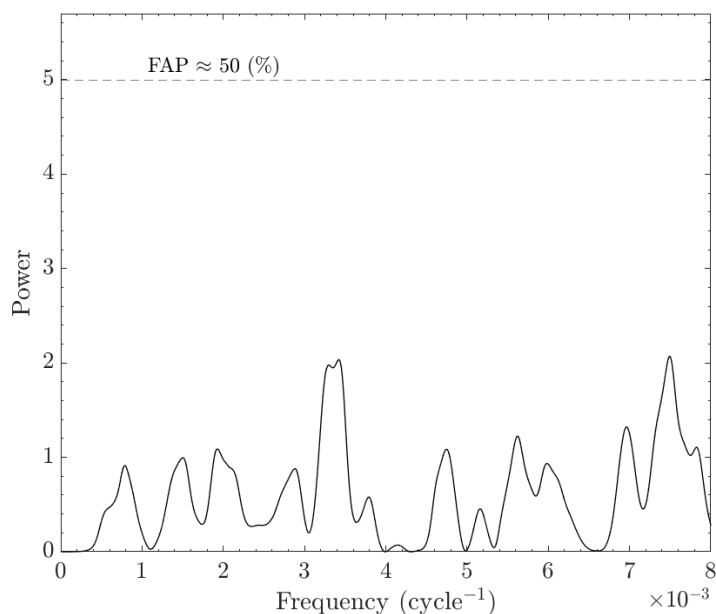


Figure 4. LS periodogram of O-C data after subtracting LTTE.

Lomb-Scargle (LS) periodogram was used to search for additional cyclic variations in the O-C data after subtracting LTTE (Lomb, 1976; Scargle, 1982). No signal above 50% false alarm probability (FAP) level was detected in the LS periodogram.

4. Conclusion

This paper presents the recent O-C based orbital period analysis of UU And. Orbital period of UU And was found to be increasing with a rate of $\dot{P} = 0.016(6)$ s/yr. Non-conservative mass transfer was assumed in order to explain the observed period increase. Sinusoidal variation was also detected in the O-C diagram of UU And. We concluded that this variation may be a sign of an additional body and/or possible magnetic cycle in the system.

Acknowledgement

The O-C database of the Czech Astronomical Society was used in research for this paper. We would like to thank Prof. A. Erdem for his comments. We would like to thank the anonymous reviewers for their valuable comments. We also would like to thank Mr. G.H. Lee for checking the English.

Author Contributions

Oğuz Öztürk: Conceived and designed the analysis.

Conflicts of Interest

We have no conflict of interest to declare.

References

- Brancewicz, S. K., Dworak, T. Z. (1980). A catalogue of parameters for eclipsing binaries. *Acta Astronomica*, 30, 501-524. Retrieved from: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1980AcA....30..501B>.
- Erdem, A., Öztürk, O. (2014). Non-conservative mass transfers in Algols. *Monthly Notices of the Royal*

- Astronomical Society*, 441(2), 1166-1176. <https://doi.org/10.1093/mnras/stu630>.
- Irwin, J.B. (1959). Standard light-time curves. *Astronomical Journal*, 64, 149-155. <https://doi.org/10.1086/107913>.
- Kreiner, J. M. (2004). Up-to-Date Linear Elements of Eclipsing Binaries. *Acta Astronomica*, 54(2), 207-210. Retrieved from: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/2004AcA...54..207K>.
- Lomb, N. R., (1976). Least-Squares Frequency Analysis of Unequally Spaced Data. *Astrophysics and Space Science*, 39(2), 447-462. <https://doi.org/10.1007/BF00648343>.
- Manzoori, D., Abbasvand, S., Najafinezhad, F. (2015). Analysis of the photoelectric light curve and the orbital period variations of the binary system UU Andromedae. *Astronomische Nachrichten*, 336(6), 570-576. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/asna.201412196>.
- Pollacco, D. L., Skillen, I., Collier, C. A., Christian, D. J., Hellier, C., Irwin, J., Lister, T. A., Street, R. A., West, R. G., Anderson, D. R., Clarkson, W. I., Deeg, H., Enoch, B., Evans, A., Fitzsimmons, A., Haswell, C. A., Hodgkin, S., Horne, K., Kane, S. R., Keenan, F. P., Maxted, P. F. L., Norton, A. J., Osborne, J., Parley, N. R., Ryans, R. S. I., Smalley, B., Wheatley, P. J., Wilson, D. M. (2006). The WASP Project and the SuperWASP Cameras. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 118(848), 1407-1418. <https://doi.org/10.1086/508556>.
- Qian, S. (2001). Possible Mass and Angular Momentum Loss in Algol-Type Binaries. IV. UU Andromedae and Z Persei. *The Astronomical Journal*, 122(3), 1561-1568. <https://doi.org/10.1086/322179>.
- Scargle, J. D. (1982). Studies in astronomical time series analysis. II. Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *Astrophysical Journal*, 263, 835-853. <https://doi.org/10.1086/160554>.
- Tout, C.A., Hall, D.S. (1991). Wind driven mass transfer in interacting binary systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 253(1), 9-18. <https://doi.org/10.1093/mnras/253.1.9>.
- Zasche, P., Liakos, A., Niarchos, P., Wolf, M., Manimanis, V., Gazeas, K. (2009). Period changes in six contact binaries: WZ And, V803 Aql, DF Hya, PY Lyr, FZ Ori, and AH Tau. *New Astronomy*, 14(2), 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.newast.2008.06.002>.



Ekmeklik Buğdayda Saman Malçının Fotosentezle İlişkili Bazı Tarımsal Özelliklere ve Verime Etkisi

Muhammed Alim Yılmaz^{1*}, Aydın Akkaya²

¹ Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

² Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 02.03.2020

Kabul: 20.08.2020

Yayın: 29.12.2020

Araştırma Makalesi

Öz – İklim ve toprak özellikleri, malç tipi, miktarı, uygulama şekli ve zamanı gibi faktörlere bağlı olarak malç materyallerinin etkinliği önemli derecede değişebilmektedir. Bu çalışmada malç olarak buğday samanı kullanılmış ve 4 farklı miktarda (0, 300, 600 ve 900 kg/da), 3 farklı zamanda (ekimden hemen sonra, sapa kalkma başlangıcında, gebecik döneminde) uygulama yapılmıştır. Deneme, faktöriyel düzenleme yapılarak, tesadüf blokları deneme planına göre, 4 tekerrürlü olarak, 2017-2018 ürün yılında Kahramanmaraş koşullarında yürütülmüştür. Denemede, Adana 99 ekmeklik buğday çeşidi kullanılmış ve saman malçı uygulamasının bayrak yaprak alanı, klorofil içeriği, bitki örtüsü sıcaklığı, net fotosentez hızı, transpirasyon hızı, stoma iletkenliği, biyomas, hasat indeksi ve tane verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uygulamaların bayrak yaprak alanı, bitki örtüsü sıcaklığı, net fotosentez hızı, transpirasyon hızı ve stoma iletkenliği üzerindeki etkileri önemsiz olmuştur. Hasat indeksi ve çiçeklenme dönemindeki klorofil içeriği yönünden malç uygulama zamanının, erken sarı olumdaki klorofil içeriği yönünden malç miktarının etkisi önemli olmuştur. Tane verimi ve biyomas yönünden malç uygulama zamanının etkisi önemsiz, uygulama miktarının etkisi önemli ancak kararsız bir durum göstermiştir. Daha kararlı sonuçlara ve güvenilir önerilere ulaşabilmek için benzer nitelikte çalışmaların uzun dönemli olarak devam ettirilmesine ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Buğday, saman malçı, fotosentez özellikleri, biyomas, tane verimi

The Effect of Straw Mulching on Some Traits Related to Photosynthesis and Yield in Bread Wheat

¹ Department of Field Crops, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş, Turkey

² Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş, Turkey

Article History

Received: 02.03.2020

Accepted: 20.08.2020

Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – The efficiency of the mulching materials could be significantly changed by the factors such as soil and climate conditions, the type, amount, application method and time of the mulching materials. In this study, the wheat straw was used as mulch material in 4 different amounts (0, 3, 6 and 9 t/ha) and at 3 different stages (soon after planting, at the beginning of stem elongation and booting stage). The experiment was carried out as factorial arrangement on the randomized complete block design with 4 replications during 2017-2018 crop season in Kahramanmaraş conditions. In the experiment, bread wheat cultivar of Adana 99 was used and the straw mulching effects on flag leaf area, chlorophyll content, plant canopy temperature, net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductivity, grain yield, biomass and harvest index were tested. The effects of treatment on flag leaf area, plant canopy temperature, net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductivity were insignificant. The effect of mulch application time on harvest index and chlorophyll content at anthesis, the effect of mulch amount on chlorophyll content at early dough stage were significant. The effects of mulch application time on grain yield and biomass were not significant, while the effects of mulch amount were significant but inconsistent. It was concluded that it is required to be carried on the long-term similar researches in order to reach reliable results and suggestions.

Keywords – Wheat, straw mulching, photosynthetic traits, biomass, grain yield

¹ <http://orcid.org/0000-0003-4735-5805> muhammedalimyilmaz@gmail.com

² <http://orcid.org/0000-0001-9560-1922> aakkaya@ksu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Yağışa dayalı koşullarda yapılan buğday yetiştiriciliğinde bitki büyümesi, fotosentez, kuru madde birikimi ve verim gibi özellikleri etkileyen en önemli faktör elverişli nem miktarı ve dağılımıdır. Akdeniz iklim kuşağında, kış ve ilkbahar dönemi yağışlı geçmekte, ancak tane verimi yönünden kritik öneme sahip olan çiçeklenme öncesi ve sonrası dönemde, özellikle tane doldurma döneminde, yüksek sıcaklık ve kuraklık etkili olmaktadır. Çiçeklenme ve tane dolum dönemlerinde etkili olan kuraklık önemli verim kayıplarına yol açmaktadır. Bu verim kaybının asıl olarak fotosentez hızının azalması, kloroplastların oksidatif hasara uğraması ve stomaların kapanması, tane bağlama ve gelişmesinin zarar görmesinden kaynaklandığı bildirilmektedir (Farooq vd., 2014).

Toprak organik maddesi, su kullanım etkinliği, verim ve verim unsurlarının artırılması yönünden bitkisel malç yararlı bir uygulamadır. Toprak ıslahı ve nem etkinliği yönünden bitki artıklarının toprağa kazandırılması büyük önem taşımakta olup, bu yöndeki uygulamalar giderek yaygınlaşmaktadır (Anderson, 2005). Toprak işleme yöntemleri yanında 0, 800 ve 1600 kg/da bitkisel malç uygulamalarını içeren 22 yıllık bir araştırma sonucuna göre, toprak kalitesinin arttığı, toprağın fiziksel ve hidrolik özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir (Kahlon vd., 2013). Bitkisel malç toprak muhafaza, toprak ekolojisi ve bitki verimi üzerinde önemli etkilere sahiptir (Erenstein, 2002). Bitki artıklarının yakılması yerine toprağa verilmesi, toprak organik madde miktarını artırmış ve agregat yapısını iyileştirmiş (Malhi ve Kutcher, 2007), çevre koruma ve sürdürülebilir verim açısından yararlı olmuştur (Malhi ve Lemke, 2007). Bitkisel malç uygulanan ve işlenmeyen topraklarda, ilk 10 cm toprak derinliğindeki makro agregatlar (>250 milimikron) en fazla su tutmuş ve en yüksek hidrolik iletkenliğe sahip olmuştur (Zhang vd., 2008). Buğday saplarının toprağa geri verilmesiyle özellikle ilk 5 cm derinlikte toprak özellikleri değişmiş, bulk yoğunluğu %40–50, agregat yoğunluğu %30–40, partikül yoğunluğu %10–15, tutulan su miktarı %30, agregat direnci ise 14 kat artmış, 8 ve 16 ton/ha malç uygulamaları kontrole göre makroagregat (>5 mm) oranını sırasıyla 6 ve 12 kat artırmıştır (Blanco-Canqui ve Lal, 2007).

Kıraçta dekara 1000 kg sap-saman uygulaması %40 verim artışı sağlamış (Gerek, 1968), 675 kg/da'lık saman malç kışlık buğdayda su kullanım etkinliğini %17, verimi %16 kadar artırmış (Huang vd., 2012), dekara 150-500 kg malç uygulanması halinde verim, fizyolojik özellikler ve toprak özelliklerinde önemli düzeyde iyileşmeler olmuştur (Stagnari vd., 2014). Yağış ve kuraklığın yıllara göre değişen etkilerine bağlı olarak, buğdayın su kullanım etkinliği ve tane verimi de önemli oranda değişmektedir. Ancak malç uygulamasıyla, verim ve su kullanım etkinliğindeki yıllara bağlı değişkenlik önlenebilmiş, geleneksel sisteme göre tane verimi %35, su kullanım etkinliği %25 artmıştır (Chen vd., 2015).

Serin ve yağışlı iklim koşullarına sahip ekolojilerde bitkisel malç uygulamasının buğday üzerindeki etkisinin az olduğunu rapor eden çalışma (Brennan vd., 2014) yanında, kurak ve yağışlı yılların her ikisinde de etkili olduğunu, biyomas, tane verimi ve su kullanım etkinliğini çok önemli düzeyde artırdığını belirten çalışma da söz konusudur (Huang vd., 2005). Çeltik bitki artıklarının malç olarak kullanılması halinde buğday verimi ve toprak nemi artmış (Rahman vd., 2005; Sidhu vd., 2007), buğdayın sulama suyu ihtiyacı 75 mm kadar azalmıştır (Sing vd., 2011). Asya, Güney Amerika ve Afrika'da yapılan araştırmaların çoğunda, anız koruma toprağın çeşitli özelliklerini iyileştirmiş, toprakta tutulan nem miktarını artırmış, farklı çevre ve sosyoekonomik koşullar için araştırmaların yapılması önerilmiştir (Turmel vd., 2015).

Bitkisel malçın olumlu etkileri toprak işleme, iklim ve toprak özellikleri yanında, malç miktarı ve kalitesi tarafından da etkilenebilmektedir (Blanco-Canqui ve Lal, 2007). Bir araştırma sonucuna göre 700 kg/da malç önerilirken (Baumhardt ve Lascano, 1996), başka bir çalışmada su infiltrasyonunu artırmak için 150 kg/da buğday sap malçının gerektiği ifade edilmiştir (Lentz ve Bjorneberg, 2003). Eğimli arazilerde malçın fazla etkili olmadığı, düz arazilerde ise 20-28 mm daha fazla toprak nemi sağladığı belirtilmiştir (Zhang vd., 2009). Yetersiz nem koşullarında, organik malç olarak çeltik kavuzlarının kullanılması halinde, buğdayda bitki ve yaprakların su içeriği, özgül yaprak ağırlığı, kök uzunluğu, biyomas, tane verimi ve su kullanım etkinliği artmıştır (Chakraborty vd., 2008; Ram vd., 2013). Mısır bitkisinde 400 kg/da bitkisel malç miktarında malçın

olumlu bir etkisi görülmezken, miktarın 670 kg/da çıkarılması halinde tane veriminde %17, biyomasta %19, su kullanım etkinliğinde %14, yaprak alan indeksinde önemli düzeyde artış meydana gelmiştir (Tolk vd., 1999). Dekara 200 ve 400 kg bitkisel malç uygulaması, yüzey akışı sırasıyla %21 ve 51 oranlarında azaltmış, malç miktarının artırılması toprakta tutulan nem miktarını önemli düzeyde artırmış (Montenegro vd., 2013), buğdayın azot alım ve kullanım etkinliği, artan anız miktarına bağlı olarak önemli derecede artmıştır (Ebrahimian vd., 2016). Metrekaredeki başak sayısı, başaktaki tane sayısı, 1000 tane ağırlığı, tane verimi ve azot kullanım etkinliği, azotun bölünerek uygulanması yanında, sıfır sürüm uygulanarak anızın korunması halinde en yüksek olmuştur (Usman vd., 2014).

Toprak neminin yetersiz olması durumunda fotosentez sınırlanmakta, büyüme ve verim azalmakta (Hassan, 2006), stoma direnci artmakta, net fotosentez ve klorofil içeriği azalmaktadır (Hirasawa ve Hisao, 1999; Galle ve Flexas, 2010). Tane doldurma yönünden gerekli olan asimilatların yarısı, çiçeklenmeden sonraki dönemde bayrak yaprak tarafından yapılan fotosentezle karşılanmaktadır. Toprakta yeterli nem bulunduğu zaman evaporasyon yüksek düzeyde olduğundan, evaporasyonun azaltılmasında, kuru topraklara kıyasla, yeterli miktarda nem içeren topraklarda bitkisel malçın daha etkili olduğu, organik ve inorganik nitelikteki diğer malçlara kıyasla buğday saplarının daha yararlı olduğu belirlenmiştir (Zribi vd., 2015).

Akdeniz ikliminde yağışlı dönemde kazanılmış olan toprak nemini muhafaza eden ve çiçeklenme öncesinden hasada kadar olan dönemde, toprak neminin etkin bir şekilde kullanımını sağlayan uygulamaların belirlenmesi önemlidir. Bu amaca yönelik olarak yapılan bu çalışmada, buğday saman malçı uygulama miktar ve zamanının Adana-99 ekmeklik buğday çeşidinde tane verimi ve fizyolojik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri deneme alanında, 2017-2018 ürün yılında yağışa dayalı koşullarda yürütülen bu çalışmada, yörede en fazla ekimi yapılan çeşitlerden biri olan Adana 99 ekmeklik buğday çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada, buğday samanı malçı, 4 farklı miktar (0, 300, 600 ve 900 kg/da) ve 3 farklı zamanda (ekimden hemen sonra, sapa kalkma başlangıcında, gebecik döneminde) uygulanmıştır. Buğday samanı her parsel için ayrı ayrı tartılmış, ekimden hemen sonraki uygulamada bütün parsel, sapa kalkma ve gebecik dönemlerindeki uygulamalarda sıra aralarına, elle homojen bir şekilde uygulanmıştır.

Deneme, faktöriyel düzenleme yapılarak tesadüf blokları deneme planına göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Parsel uzunluğu 8 m, parsel genişliği 1 m, ekim sıklığı 500 tane/m² olacak şekilde, parsel ekim makinesiyle 17.11.2017 tarihinde ekim yapılmıştır. Ekimle birlikte 6 kg/da saf N ve P₂O₅ ve sapa kalkma başlangıcında 8 kg/da saf N uygulanmıştır (Akkaya, 1994). Bitkiler tam olum dönemine geldiklerinde parsel başlarından 50 cm, parsel kenarlarından 1 sıra kenar tesiri olarak atılmış, kalan kısım toprak seviyesinden orakla hasat edilmiştir. Bitkiler birkaç gün süreyle kurutulduktan sonra tartılmış ve biyomas verimleri belirlenmiştir. Tartım sonrası parsel harman makinesiyle harman yapılmış, tane ürünü temizlenip tartılmış ve tane verimi kg/da olarak ifade edilmiştir. Her parsel için tane verimi, biyomas verimine oranlanarak hasat indeksi hesaplanmıştır.

Çiçeklenme döneminde (ZD:65; Zadoks vd., 1974), 10 bitkinin ana saplarına ait bayrak yaprakların alanı, AM-300 yaprak alanı ölçme cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Toplam klorofil içeriği taşınabilir klorofil photometer ile çiçeklenme (ZD:65; Zadoks vd., 1974) ve erken sarı olum (ZD:83; Zadoks vd., 1974) dönemlerinde 10 bitkinin ana sapına ait bayrak yapraklar üzerinde tarlada ölçülmüştür (Pask vd., 2012). Bitki Örtüsü Sıcaklığı, çiçeklenme sonunda (ZD:69; Zadoks vd., 1974), tam güneşli havada 11.00-15.00 saatleri arasında infrared termometre ile ölçülerek belirlenmiştir (Reynolds vd., 2001). Tane dolun döneminde, her parselden şansa bağlı olarak seçilen 10 bitkinin ana sapına ait bayrak yaprakta, tam güneşli havada, 10.00 ile 16.00 saatleri arasında LCpro+ Fotosentez Cihazı kullanılarak stoma iletkenliği, net fotosentez hızı ve transpirasyon hızı ölçülmüştür (Kara, 2009).

Araştırmanın yapıldığı 2017-2018 ürün yılı ile uzun yıllar ortalamasına ait bazı iklim verileri **Tablo 1**'de verilmiştir (Anonim, 2018). İlgili tablodan görüleceği gibi, uzun yıllar ortalamasına ait toplam yağış miktarı 650.8 mm, denemenin yapıldığı dönemde 523.5 mm olarak gerçekleşmiştir. Ancak Mayıs ve Haziran aylarına ait yağışların ürün yılında, uzun yıllar ortalamasına göre daha yüksek gerçekleşmiş olması dikkat çekicidir. Uzun yıllar ortalaması 12.6 °C olan sıcaklık, 2017-2018 yetiştirme döneminde 14.7 °C ile uzun yıllar ortalamasına göre daha yüksek olmuştur. Uzun yıllar ortalamasına göre ortalama nispi nem %63.04 olurken, 2017-2018 döneminde %59.97 olarak gerçekleşmiştir. Deneme topraklarının 0-30 cm derinliğinden alınan örneklerde pH 7.28, tuz oranı %0.30, kireç %1, organik madde %2.08, potasyum 266.8 mg/kg, fosfor 10.46 mg/kg olarak belirlenmiştir (Yılmaz, 2018). Elde edilen verilerle ilgili istatistiksel analizler, tesadüf bloklarında faktöriyel düzenlemeye göre SAS paket programı kullanılarak yapılmış, ortalamaların karşılaştırılmasında LSD testi kullanılmıştır (SAS Institute, 2010).

Tablo 1
Deneme yılı ve uzun yıllar ortalamasına ait bazı iklim verileri

Aylar	Aylık ortalama yağış (mm)		Aylık ortalama sıcaklık (°C)		Aylık ortalama nispi nem (%)	
	2017-2018	Uzun yıllar (1980-2018)	2017-2018	Uzun yıllar (1980-2018)	2017-2018	Uzun yıllar (1980-2018)
Kasım	91.2	87.5	12.2	11.5	64.17	66.68
Aralık	33.4	116.6	8.8	6.8	68.97	79.85
Ocak	149.4	125.4	7.4	4.9	69.45	69.99
Şubat	60.2	108.3	9.6	6.4	69.44	65.62
Mart	50.2	93.4	14.1	10.6	60.80	60.00
Nisan	46.8	69.8	18.4	15.5	45.31	57.59
Mayıs	48.9	41.2	21.6	20.3	52.58	54.95
Haziran	43.4	8.4	25.4	25.3	49.06	49.67
Toplam	523.5	650.8				
Ortalama			14.7	12.6	59.97	63.04

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bayrak Yaprak Alanı

Bayrak yaprak alanı yönünden malç miktarı, malç uygulama zamanı ve malç miktarı*uygulama zamanı interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. En yüksek bayrak yaprak alanı 3256 mm² ile 0 kg/da, en düşük bayrak yaprak alanı 2876 mm² ile 300 kg/da malç uygulamasından elde edilmiş, uygulama miktarları arasındaki farklar önemli olmamıştır. Ekimden sonra, sapa kalkma ve gebecik dönemlerindeki malç uygulamalarında bayrak yaprak alanı sırasıyla 3034, 3102 ve 3107 mm² olmuş, aradaki farklar önemli çıkmamıştır (bkz. **Tablo 2**). **Stagnari vd. (2014)**, dekara 150-500 kg bitkisel malç uygulanması durumunda fizyolojik özelliklerde önemli düzeyde iyileşmeler tespit etmişlerdir. Bu çalışmada malç uygulamasının etkisinin önemli olmayışı araştırmanın yürütüldüğü koşullara, özellikle Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında gerçekleşen yeterli yağışlara bağlanabilir. Nitekim **Brennan vd. (2014)** ile **Huang vd. (2005)**, serin ve yağışlı iklim koşullarına sahip ekolojilerde bitkisel malç uygulamalarının buğday üzerindeki etkisinin az, kurak koşullardaki etkisinin çok daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

3.2. Bitki Örtüsü Sıcaklığı

Bitki örtüsü sıcaklığı yönünden malç miktarı, malç uygulama zamanı ve interaksyonun etkisi istatistiksel olarak önemsiz olmuştur. Malç miktarlarına göre bitki örtüsü sıcaklıkları 21.67-22.17 °C arasında değişmiş olup, oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Benzer durum malç uygulama zamanları için de söz konusu olmuş ekimden sonra, sapa kalkma ve gebecik dönemlerinde yapılan malç uygulamalarında bitki örtüsü sıcaklıkları sırasıyla 22.05, 21.7 ve 22.03 °C olarak gerçekleşmiştir (bkz. [Tablo 2](#)). Ekimden sonra ve sapa kalkma döneminde yapılan uygulamalarda, artan malç miktarına bağlı olarak bitki örtüsü sıcaklığı artarken, gebecik dönemindeki uygulamada malç miktarının 600 kg/da'ın üzerine çıkması bitki örtüsü sıcaklığını düşürmüştür. Ancak bu farklı etki, interaksyonun önemli çıkmasına neden olacak düzeyde olmamıştır. [Erdoğan \(2018\)](#), 12 ekmeclik buğday çeşidi ile yaptığı araştırmada bitki örtüsü sıcaklığının, bu araştırma sonuçlarına benzer şekilde, 21.8-22.9 °C arasında değiştiğini bildirmiştir. [Amini vd. \(2013\)](#) tarafından yapılan çalışmada, sulama, malçlama ve sulama*malç interaksyonun mercimekte bitki örtüsü sıcaklığı üzerindeki etkisinin önemli bulunmuş olması bu araştırma sonucunu destekleyici şekilde olmayıp, aradaki fark araştırmaların yürütüldüğü koşullara ve çalışılan bitkinin farklı olmasına bağlanabilir.

Tablo 2

Malç miktarı ve uygulama zamanlarına göre bayrak yaprak alanı ve bitki örtüsü sıcaklığı

Malç miktarı (kg/da)	Bayrak yaprak alanı (mm ²)				Bitki örtüsü sıcaklığı (°C)			
	Uygulama zamanı			Ortalama	Uygulama zamanı			Ortalama
	E	S	G		E	S	G	
0	3310	3248	3211	3256	21.4	21.3	22.3	21.67
300	2816	3061	2751	2876	21.7	21.4	22.1	21.74
600	2862	3180	3212	3085	22.2	21.8	22.4	22.14
900	3148	2920	3255	3108	22.9	22.3	21.3	22.17
Ortalama	3034	3102	3107		22.05	21.7	22.03	

E: Ekimden sonra, S: Sapa kalkma başlangıcı, G: Gebecik dönemi

3.3. Klorofil İçeriği

Çiçeklenme Dönemi

Malç miktarı, malç uygulama zamanı ve malç miktarı*uygulama zamanı interaksyonunun çiçeklenme dönemindeki klorofil içeriği üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. En yüksek klorofil içeriği (42.21 SPAD) 300 kg/da, en düşük klorofil içeriği (40.24 SPAD) kontrol uygulamasından elde edilmiş, ancak uygulamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Ekimden sonra, sapa kalkma ve gebecik dönemlerinde yapılan malç uygulamalarında sırasıyla 42.14, 39.12 ve 41.61 SPAD değerleri ölçülmüştür (bkz. [Tablo 3](#)). Varyans analizi sonucunda F testine göre uygulama zamanının etkisi önemsiz çıkmış olmakla beraber, LSD testine göre ortalamalarda gruplandırma olmuştur. Ekimden sonraki malç uygulamasında ölçülen SPAD değeri en yüksek olmuş, gebecik dönemindeki uygulamayla arasındaki fark önemsiz, sapa kalkma başlangıcındaki uygulamayla arasındaki fark önemli çıkmıştır.

Erken Sarı Olum Dönemi

Erken sarı olum dönemindeki klorofil içeriği yönünden malç miktarı, malç uygulama zamanı ve interaksyon etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Erken sarı olum dönemi klorofil içerikleri ekimden sonra, sapa kalkma ve gebecik dönemlerindeki malç uygulamalarında sırasıyla 29.60, 30.12 ve 27.85 SPAD olmuş, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır. Varyans analiz sonucunda malç miktarının etkisi önemsiz çıkmış olmakla beraber, ortalamaların karşılaştırılması durumunda gruplama söz konusu olmuştur. En yüksek klorofil içeriğine (31.75 SPAD) 300 kg/da malç uygulaması sahip olmuş, 0 ve 600 kg/da

malç uygulamalarında ölçülen değerlerle arasındaki fark önemli olurken, 900 kg/da malç uygulamasıyla arasındaki fark önemli olmamıştır (bkz. [Tablo 3](#)).

Bu araştırma sonucuna benzer şekilde [Akter vd. \(2018\)](#), tarla koşullarında 3 buğday çeşidinde çeltik sap malçı uygulamasının ekimden 30, 45 ve 60 gün sonra yapılan klorofil ölçümleri üzerindeki etkisini önemli bulmuşlardır. Klorofil içeriği 32.30-55.88 SPAD arasında değişmiş, klorofil içeriği malç uygulamasında yüksek, kontrol uygulamasında düşük bulunmuştur.

Tablo 3

Malç miktarı ve uygulama zamanlarına göre çiçeklenmedeki ve erken sarı olumdaki klorofil içeriği

Malç miktarı (kg/da)	Çiçeklenmedeki klorofil içeriği (SPAD)				Erken sarı olumdaki klorofil içeriği (SPAD)			
	Uygulama zamanı			Ortalama	Uygulama zamanı			Ortalama
	E	S	G		E	S	G	
0	43.43	37.2	40.11	40.24	28.7	27.2	27	27.63(B)
300	41.25	41.48	43.91	42.21	30.6	32.7	32	31.75(A)
600	41.1	37.68	42	40.26	29.6	29	26.7	28.43(B)
900	42.79	40.13	40.43	41.11	29.6	31.6	25.7	28.96(AB)
Ortalama	42.14(A)	39.12(B)	41.61(AB)		29.6	30.12	27.85	
LSD	Uygulama zamanı: 2.6615				Malç miktarı: 3.2761			

E: Ekimden sonra, S: Sapa kalkma başlangıcı, G: Gebecik dönemi

3.4. Net Fotosentez Hızı

Net fotosentez hızı yönünden malç miktarı, malç uygulama zamanı ve interaksyonun etkisi istatistiksel olarak önemsiz olmuştur. Ekimden sonra, sapa kalkma ve gebecik dönemlerinde yapılan malç uygulamalarında net fotosentez hızı sırasıyla 13.455, 14.227 ve 14.335 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Malç uygulama zamanı geciktikçe net fotosentez hızında artış olmakla beraber, uygulamalar arasındaki fark istatistiki yönden önemli bulunmamıştır. Dekara 0, 300, 600 ve 900 kg malç uygulamalarında net fotosentez hızı sırasıyla 13.695, 14.145, 14.058 ve 14.124 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak gerçekleşmiştir. Malç miktarı 0 kg/da'dan 300 kg/da'a çıktığında net fotosentez hızı istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte bir miktar artış göstermiş, ancak bundan sonraki malç miktarlarında net fotosentez hızı artmamış ve kararlı bir durumda seyretmiştir (bkz. [Tablo 4](#)). Malç miktarının 0 kg/da'dan 300 kg/da'a çıkması halinde, ekimden sonra yapılan uygulamada net fotosentez hızı artarken, sapa kalkma ve gebecik döneminde yapılan uygulamalarda artmamıştır. Ayrıca malç miktarının 300 kg/dan daha fazla artırılması, ekimden sonra ve sapa kalkma döneminde yapılan uygulamalarda net fotosentez hızını fazla değiştirmemiş, gebecik döneminde 600 kg/da'dan 900 kg/da'a çıkan uygulama fotosentez hızını artırmıştır. Ancak, uygulama zamanlarına ve miktarlarına bağlı olarak ortaya çıkan bu etkiler, interaksyonun önemli çıkmasına neden olacak büyüklükte olmamıştır. [Stagnari vd. \(2014\)](#), dekara 150-500 kg bitkisel malç uygulanması halinde fizyolojik özelliklerde önemli düzeyde iyileşmeler belirlemişken, bu çalışmada malç uygulamasının net fotosentez hızı üzerinde önemli bir etki göstermeyişi, araştırmanın yürütüldüğü yıldaki iklim koşullarına, özellikle de Haziran ayındaki çok yüksek yağış miktarına bağlanabilir (bkz. [Tablo 1](#)). Nitekim [Brennan vd. \(2014\)](#) ile [Huang vd. \(2005\)](#) ise, bitkisel malç uygulamalarının buğday üzerindeki etkisinin serin ve yağışlı iklim koşullarında az, kurak koşullarda yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

3.5. Transpirasyon Hızı

Malç miktarı ve uygulama zamanının transpirasyon hızı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. En düşük net transpirasyon hızı 4.499 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak ekimden sonraki dönemde yapılan malç uygulamasında ölçülmüş, malç uygulaması zamanı geciktikçe transpirasyon hızında az da olsa bir artış

olmuş, ancak uygulamalar arasındaki fark istatistikî yönden önemli çıkmamıştır. Dekara 0, 300, 600 ve 900 kg malç uygulamalarında transpirasyon hızı sırasıyla 4.584, 4.473, 4.589 ve 4.567 mmol H₂O m⁻²s⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Malç miktarı 0 kg/da'dan 300 kg/da'a çıktığında transpirasyon hızında artış olmamış, 600 kg/da'a çıktığında az da olsa artış olmuş ve bundan sonra kararlı bir durumda seyretmiştir (bkz. Tablo 4). Transpirasyon hızı yönünden uygulama zamanı*malç miktarı interaksyonunu istatistikî olarak önemli olmamıştır. Stagnari vd. (2014), bitkisel malç uygulanması halinde buğdayın fizyolojik özelliklerinde önemli düzeyde iyileşmeler olduğunu, Chen vd. (2015), yağış ve kuraklığın yıllara göre değişen etkilerine bağlı olarak, buğdayın su kullanım etkinliğinin önemli oranda değiştiğini, ancak malç uygulaması sayesinde, su kullanım etkinliğindeki yıllara bağlı bu değişkenliğin önlenebildiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, malç uygulamasının transpirasyon hızı üzerinde önemli bir etki göstermeyişi, araştırmanın yürütüldüğü yıldaki iklim koşullarına, özellikle de Haziran ayındaki çok yüksek yağış miktarına bağlanabilir (bkz. Tablo 1).

Tablo 4

Malç miktarı ve uygulama zamanlarına net fotosentez hızı ve transpirasyon hızı

Malç miktarı (kg/da)	Net fotosentez hızı (µmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)				Transpirasyon hızı (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			
	Uygulama zamanı			Ortalama	Uygulama zamanı			Ortalama
	E	S	G		E	S	G	
0	12.239	14.461	14.385	13.695	4.404	4.694	4.654	4.584
300	13.927	14.285	14.223	14.145	4.684	4.155	4.580	4.473
600	14.043	14.625	13.504	14.058	4.251	4.985	4.529	4.589
900	13.611	13.535	15.225	14.124	4.655	4.447	4.598	4.567
Ortalama	13.455	14.227	14.335		4.499	4.571	4.591	

E: Ekimden sonra, S: Sapa kalkma başlangıcı, G: Gebecik dönemi

3.6. Stoma İletkenliği

Stoma iletkenliği yönünden malç miktarı, uygulama zamanı ve interaksyonun etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Ekimden sonra, sapa kalkma ve gebecik dönemlerindeki malç uygulamalarında stoma iletkenliği sırasıyla 0.257, 0.247 ve 0.253 mol H₂O m⁻²s⁻¹ olarak ölçülmüş ve sonuçlar birbirine oldukça yakın gerçekleşmiştir. Dekara 0, 300, 600 ve 900 kg malç uygulamalarında stoma iletkenliği sırasıyla 0.247, 0.253, 0.253 ve 0.257 mol H₂O m⁻²s⁻¹ olarak gerçekleşmiş ve uygulamalar arasındaki farklar istatistikî olarak önemli olmamıştır (bkz. Tablo 6). Malç miktarındaki artışlar, ekimden sonra ve sapa kalkma dönemlerinde yapılan uygulamalarda stoma iletkenliğinde inişli çıkışlı tepkilere yol açarken, gebecik döneminde yapılan uygulamada daha kararlı bir durum göstermiştir. Ancak bu değişimlerin düzeyi küçük kalmış ve interaksyon önemsiz bulunmuştur. Stagnari vd. (2014), dekara 150-500 kg bitkisel malç uygulanması halinde, verim ve fizyolojik özelliklerde önemli düzeyde iyileşmeler olduğunu bildirmişlerdir. Kahramanmaraş koşullarında yapılan bu çalışmada, Mayıs ve Haziran ayı yağışlarının yeterli olması, malç uygulamalarından beklenen yararları baskılamış olabilir.

3.7. Biyomas

Biyomas yönünden malç miktarının etkisi istatistiksel olarak önemli, uygulama zamanı ve interaksyonun etkisi önemsiz bulunmuştur. En yüksek biyomas değerine (1316 kg/da) 600 kg/da malç uygulaması sahip olmuş, ancak kontrol uygulamasından elde edilen biyomas değeriyle (1295 kg/da) arasındaki fark önemli olmamıştır. Dekara 300 ve 900 kg malç uygulamalarında sırasıyla 1175 ve 1172 kg/da biyomas elde edilmiş ve aynı gruba girmişlerdir. Ekimden sonra, sapa kalkma ve gebecik dönemlerinde yapılan malç uygulamalarında biyomas miktarları sırasıyla 1273, 1230 ve 1216 kg/da olmuş ve aralarındaki fark önemsiz olmuştur (bkz. Tablo 5). Tolk vd. (1999), mısır bitkisinde 400 kg/da bitkisel malç uygulamasının olumlu bir etkisi olmadığını, malç miktarının 670 kg/da çıkarılması halinde biyomasta %19 oranında artış meydana

geldiğini tespit etmişlerdir. Kahramanmaraş koşullarında yapılan bu çalışmada, malç uygulamalarının biyomas üzerindeki etkisi açısından kararlı bir sonuç alınamamış olması, araştırmanın yapıldığı koşullara bağlanabilir.

3.8. Hasat İndeksi

Hasat indeksi yönünden malç miktarı ve interaksiyon etkisi istatistiksel olarak önemsiz, uygulama zamanının etkisi önemli bulunmuştur. En yüksek hasat indeksi (%44.5) sapa kalkma döneminde yapılan uygulamadan elde edilmiş, ekimden hemen sonra yapılan uygulamayla arasındaki fark önemli olmamış ve aynı grupta yer almıştır. Gebecik döneminde yapılan uygulama %42.2 ile en düşük hasat indeksine sahip olmuş, ekimden hemen sonra yapılan uygulamayla arasındaki fark önemsiz olurken, sapa kalkma dönemindeki uygulamayla arasındaki fark önemli çıkmıştır. Dekara 0, 300, 600 ve 900 kg malç uygulamalarında hasat indeksi sırasıyla %42.3, 44.2, 43.5 ve 42.7 olmuş, aralarında önemli bir fark söz konusu olmamıştır (bkz. [Tablo 5](#)). En yüksek hasat indeksi sapa kalkma döneminde 300 kg/da malç uygulaması ile elde edilmiştir. Dekara 300 kg'dan fazla malç uygulaması, bütün uygulama zamanlarında hasat indeksinde azaltıcı yönde etki yapmıştır. Buğdayda hasat indeksi yönünden, çeltik sap malçı uygulamasının önemli etkiye sahip olduğu ([Akter vd., 2018](#)), anıza ekimde geleneksel toprak işlemeye göre daha yüksek sonuç alındığı ([Jabran ve Aulakh, 2015](#)), malç boyutu ve azot seviyesinin etkisinin önemli, malç çeşidinin etkisinin önemsiz olduğu ([Farooq vd., 2018](#)) şeklinde sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5

Malç miktarı ve uygulama zamanlarına göre biyomas ve hasat indeksleri

Malç miktarı (kg/da)	Biyomas (kg/da)				Hasat indeksi (%)			
	Uygulama zamanı			Ortalama	Uygulama zamanı			Ortalama
	E	S	G		E	S	G	
0	1276	1382	1229	1295(A)	43	43	41	42.3
300	1216	1105	1206	1175(B)	44	46	43	44.2
600	1380	1285	1282	1316(A)	43	44	43	43.5
900	1221	1147	1149	1172(B)	41	45	42	42.7
Ortalama	1273	1230	1216		42.7(AB)	44.5(A)	42.2(B)	
LSD	Malç miktarı: 97.885				Uygulama zamanı: 1.7877			

E: Ekimden sonra, S: Sapa kalkma başlangıcı, G: Gebecik dönemi

3.9. Tane Verimi

Tane verimi yönünden malç miktarının etkisi istatistiksel olarak önemli, uygulama zamanının etkisi önemsiz olmuştur. En yüksek tane verimine (571 kg/da) 600 kg/da malç uygulaması sahip olmuş, ancak kontrol uygulamasından elde edilen tane verimiyle (549 kg/da) arasındaki fark önemli olmamış ve aynı grupta yer almıştır. Dekara 300 ve 900 kg malç uygulamalarında sırasıyla 519 ve 501 kg/da tane verimi elde edilmiş ve bu iki uygulama aynı gruba girmiştir. Ekimden sonra, sapa kalkma ve gebecik dönemlerinde yapılan malç uygulamalarında tane verimi sırasıyla 544, 546 ve 516 kg/da olmuş ve sonuçlar oldukça yakın gerçekleşmiştir (bkz. [Tablo 6](#)). [Tolk vd. \(1999\)](#), mısır bitkisinde 400 kg/da bitkisel malç uygulanması halinde olumlu bir etki olmadığını, ancak malç miktarının 670 kg/da çıkarılması halinde tane veriminde %17 artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. [Shah vd. \(2013\)](#), malç uygulamasının, kontrole göre tane verimini %26 artırdığını, [Jabran ve Farooq vd. \(2018\)](#), malç tipi (ıslatılmış ve ıslatılmamış mısır bitkisi malçı) ve malç boyunun (20, 40 ve 60 cm) buğdayda tane verimi yönünden önemli etkiye sahip olduğunu, [Chen vd. \(2019\)](#) malç uygulamasının tane verimini artırdığını belirlemişlerdir. Kahramanmaraş koşullarında yapılan bu çalışmada, tane verimi yönünden malç uygulamasından kararlı bir sonucun elde edilememiş olması, tane dolun dönemine rast gelen Mayıs-Haziran, özellikle de Haziran ayı yağışlarının, uzun yıllar ortalamasının çok üzerinde gerçekleşmiş olmasına bağlanabilir.

Net fotosentez hızı, transpirasyon hızı, stoma iletkenliği ve tane verimi için elde ettiğimiz bulgularımız, serin ve yağışlı iklim koşullarına sahip ekolojilerde bitkisel malç uygulamalarının buğday üzerindeki etkisinin az, kurak koşullarda yüksek olduğunu açıklayan Brennan vd. (2014) ile Huang vd. (2005)'nin bulgularıyla benzerlik göstermiştir.

Tablo 6

Malç miktarı ve uygulama zamanlarına göre stoma iletkenliği ve tane verimi

Malç miktarı (kg/da)	Stoma iletkenliği (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)				Tane verimi (kg/da)			
	Uygulama zamanı			Ortalama	Uygulama zamanı			Ortalama
	E	S	G		E	S	G	
0	0.231	0.253	0.255	0.247	547	591	508	549(AB)
300	0.282	0.224	0.252	0.253	531	504	522	519(BC)
600	0.236	0.265	0.257	0.253	594	563	556	571(A)
900	0.279	0.245	0.246	0.257	504	521	477	501(C)
Ortalama	0.257	0.247	0.253		544	546	516	
LSD	Malç miktarı: 40.573							

E: Ekimden sonra, S: Sapa kalkma başlangıcı, G: Gebecik dönemi

4. Sonuçlar

Kahramanmaraş koşullarında, 2017-2018 ürün yılında yürütülmüş olan bu çalışmada, malç uygulama zamanı ve miktarının, Adana 99 ekmeklik buğday çeşidinde bayrak yaprak alanı, bitki örtüsü sıcaklığı, net fotosentez hızı, transpirasyon hızı ve stoma iletkenliği üzerindeki etkileri önemsiz olmuştur. Çiçeklenme dönemindeki klorofil içeriği yönünden malç uygulama zamanı önemli olmuş, ekimden hemen sonra yapılan uygulama en iyi sonucu vermiştir. Erken sarı olumdaki klorofil içeriği yönünden malç miktarının etkisi önemli olmuş, en iyi sonuç 300 kg/da malç uygulamasından elde edilmiştir. Hasat indeksi yönünden uygulama zamanı önemli etkiye sahip olmuş, gebecik döneminde yapılan uygulamada hasat indeksi düşme eğilimi göstermiştir. Tane verimi ve biyomas yönünden malç uygulama zamanının etkisi önemsiz olurken, malç miktarının etkisi önemli olmuş ancak kararsız bir durum göstermiştir. Daha kararlı sonuçlara ve güvenilir önerilere ulaşabilmek için benzer nitelikte çalışmaların devam ettirilmesine ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 2017/2-7 YLS.

Yazar Katkıları

Aydın Akkaya: Çalışmayı planlamış, çalışmanın yürütülmesine, istatistiksel analizlerin yapılmasına ve makale yazımına yardımcı olmuştur.

Muhammed Alim Yılmaz: Veri toplamış, istatistiksel analizleri yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

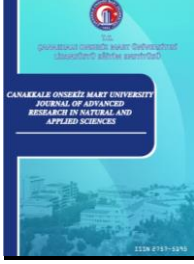
Akkaya, A. (1994). *Buğday Yetiştiriciliği*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Genel Yayın I. Ders Kitapları Yayın I, Kahramanmaraş, 225s.

Aker, S., Sarker, U. K., Hasan, A. K., Uddin, M. R., Hoque, M. M. I. ve Mahapatra, C. K. (2018). Effects of mulching on growth and yield components of selected varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) under

- field condition. *Archives of Agriculture and Environmental Science* 3(1), 25-35. <https://doi.org/10.26832/24566632.2018.030103>
- Amini, R. ve Alami-Milani, M. (2013). Effect of mulching on soil, canopy and leaf temperature of lentil (*Lens culinaris* Medick.). *IJFAS Journal*, 2(20), 797-802.
- Anderson, R. L. (2005). Are some crops synergistic to following crop. *Agronomy Journal*, 97(1), 7-10. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0007a>
- Anonim. (2018). *Kahramanmaraş Meteoroloji İl Müdürlüğü Verileri*. Kahramanmaraş.
- Baumhardt, R. L. ve Lascano, R. J. (1996). Rain infiltration as affected by wheat residue amount and distribution in ridged tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 60, 1908–1913. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000060041x>
- Blanco-Canqui, H. ve Lal, R. (2007). Impacts of long-term wheat straw management on soil hydraulic properties under no-tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 71, 1166–1173. <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0411>
- Brennan, J., Hackett, R., McCabe, T., Grant, J., Fortune, R. A. ve Forristal, P. D. (2014). The effect of tillage system and residue management on grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat in a cool Atlantic climate. *European Journal of Agronomy*, 54, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.009>
- Chakraborty, D., Nagarajan, S., Aggarwal, P., Gupta, V. K., Tomar, R. K., Garg, R. N., Sahoo, R., Sarkar, A., Chopra, U., Sundara Sarma, K. S. ve Kalra, N. (2008). Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 95, 1323-1334. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.001>
- Chen, W., Zhangc, J. ve Dengb, X. (2019). The spike weight contribution of the photosynthetic area above the upper internode in a winter wheat under different nitrogen and mulching regimes. *The Crop Journal*, 7(1), 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.10.004>
- Chen, Y., T.,Liu, X., Tian, X., Wang, M., Li, S. ve Wang, Z. (2015). Effects of plastic film combined with straw mulch on grain yield and water use efficiency of winter wheat in Loess Plateau. *Field Crops Research*, 172, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.11.016>
- Ebrahimian, E., Koocheki, A., Mahallati, M. N., Khorramdel, S. ve Beheshti, A. (2016). The effect of tillage and wheat residue management on nitrogen uptake efficiency and nitrogen harvest index in wheat. *Turkish Journal of Field Crops*, 21(2), 233-239. <https://doi.org/10.17557/tjfc.90410>
- Erdoğan, E. (2018). *Amik Ovası Koşullarında Bazı Ekmeklik Buğday (Triticum aestivum L.) Genotiplerinin Fizyolojik, Morfolojik ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Erenstein, O. (2002). Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil and Tillage Research*, 67, 115-133. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00062-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00062-4)
- Farooq, M., Bakhtiar, M., Tchabo, W., Meng, W., Ullah, A., Saboor, A., Ilyas, N., Fatima, N. ve Ma, S. (2018). Effect of mulch type, mulch size and nitrogen levels on wheat production. *African Journal of Food and Integrated Agriculture*, 2, 15-22. <https://doi.org/10.25218/ajfia.2018.01.001.03>
- Farooq, M., Hussain, M. ve Siddique, K. H. M. (2014). Drought Stress in Wheat during Flowering and Grain-filling Periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 331-349. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291>
- Gallé, A. ve J., Flexas. (2010). Gas-exchange and chlorophyll fluorescence measurements in grapevine leaves in the field. *Methodologies and Results in Grapevine Research*, 107–121. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9283-0_8
- Gerek, R. (1968). *Dryfarming istasyonu tarafından yapılmış olan nadas hazırlığı ve toprak verimliliği denemeleri*. Eskişehir Tohum Islah ve Deneme İstasyonu 6, Eskişehir.
- Hassan, I. A. (2006). Effects of water stress and high temperature on gas exchange and chlorophyll fluorescence in *Triticum aestivum* L. *Photosynthetica*, 4(4), 312–315. <https://doi.org/10.1007/s11099-006-0024-7>
- Hirasawa, T. ve Hisao, T. (1999). Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research*, 62, 53–62. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00005-2)
- Huang, G., Chai, Q., Feng, F. ve Yu, A. (2012). Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Arid Northwest China. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(8), 1286-1296. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60125-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60125-7)

- Huang, Y., Chen, L., Fu, B., Huang, Z. ve Gong, J. (2005). The wheat yields and water-use efficiency in the Loess Plateau: straw mulch and irrigation effects. *Agricultural Water Management*, 72, 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.012>
- Jabran, K. ve Aulakh, A. M. (2015). Higher Yield and Economic Benefits for Wheat Planted in Conservation Till Systems. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 25(1), 78-83. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.236391>
- Kahlon, M. S., Lal, R. ve Ann-Varughese, M. (2013). Twenty-two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil & Tillage Research*, 26, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.08.001>
- Kara, R. (2009). *Kahramanmaraş yöresine ait yerel ekmeklik buğday genotiplerinin verim ve fizyolojik özellikler yönünden incelenmesi*. (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Lentz, R. D. ve Bjorneberg, D. L. (2003). Polyacrylamide and straw residue effects on irrigation furrow erosion and infiltration. *Journal of Soil and Water Conservation*, 58, 312–319. <https://doi.org/10.13031/2013.4494>
- Malhi, S. S. ve Kutcher, H. R. (2007). Small grains stubble burning and tillage effects on soil organic C and N, and aggregation in northeastern Saskatchewan. *Soil & Tillage Research*, 94, 353–361. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.009>
- Malhi, S.S. ve Lemke, R. (2007). Tillage, crop residue and N fertilizer effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality and nitrous oxide gas emissions in a second 4-yr rotation cycle. *Soil & Tillage Research*, 96, 269–283. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.06.011>
- Montenegro, A. A. A., Abrantes, J. R. C. B., de Lima, J. L. M. P., Singh, V. P. ve Santos, T. E. M. (2013). Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, 109, 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.018>
- Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M. ve Reynolds, M. P. (2012). *Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping*. D.F.: CIMMYT, Mexico.
- Rahman, M. A., Chikushi, J., Saifizzaman, M. ve Lauren, J. G. (2005). Rice straw mulching and nitrogen response of no-till wheat following rice in Bangladesh. *Field Crops Research*, 91, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.06.010>
- Ram, H., Dadhwal, V., Vashist, K. K. ve Kau, H. (2013). Grain yield and water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) in relation to irrigation levels and rice straw mulching in North West India. *Agricultural Water Management*, 128, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.011>
- Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, J. I. ve McNab, A. (2001). *Application of Physiology in Wheat Breeding*. D.F.: CIMMYT, Mexico.
- SAS Institute. (2010). *Statistical Analysis System Software*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shah, S. S. H., Ul-Hassan, A., Ghafoor, A. ve Bakhsh, A. (2013). Soil physical characteristics and yield of wheat and maize as affected by mulching materials and sowing methods. *Soil Environment*, 32(1), 14-21.
- Sidhu, H. S., Singh, M., Humphreys, E., Singh, B., Dhillon, S. S., Blackwell, J., Bector, V., Malkeet-Singh ve Sarbjeet-Singh. (2007). The Happy Seeder enables direct drilling of wheat into rice stubble. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(7), 844-854. <https://doi.org/10.1071/EA06225>
- Singh, B., Humphreys, E., Eberbach, P. L., Katupitiya, A., Singh, Y. ve Kukal, S.S. (2011). Growth, yield and water productivity of zero till wheat as affected by rice straw mulch and irrigation schedule. *Field Crops Research*, 121, 209–225. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.12.005>
- Stagnari, F., Galieni, A., Specca, S., Cafiero, G. ve Pisante, M. (2014). Effects of straw mulch on growth and yield of durum wheat during transition to Conservation Agriculture in Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 167, 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.07.008>
- Tolk, J., Howell, T. ve Evett, S. (1999). Effect of mulch, irrigation, and soil type on water use and yield of maize. *Soil & Tillage Research*, 50, 137-147. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00011-2)
- Turmel, M., Speratti, A., Baudron, F., Verhulst, N. ve Govaerts, B. (2015). Crop residue management and soil health: A systems analysis. *Agricultural Systems*, 134, 6-16. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.009>
- Usman, K., Khan, E. A., Niamatullah, K., Abdur, R., Fazal, Y. ve Uddin, S. (2014). Response of Wheat to Tillage Plus Rice Residue and Nitrogen Management in Rice-Wheat System. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(11), 2389-2398. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60728-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60728-5)
- Yılmaz, K. (2018). *Toprak Bilimi Raporları*. KSÜ Ziraat Fakültesi Toprak Laboratuvarı. Kahramanmaraş.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. ve Konzak, C. F. (1974). A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

- Zhang, G. S., Chan, K. Y., Li, G. D. ve Huang, G. B. (2008). Effect of straw and plastic film management under contrasting tillage practices on the physical properties of an erodible loess soil. *Soil & Tillage Research*, 98, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.09.001>
- Zhang, S., Lövdahl, L., Grip, H., Tong, Y., Yang, X. ve Wang, Q. (2009). Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China. *Soil & Tillage Research*, 102, 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.019>
- Zribi, W., Aragués, R., Medina, E. ve Faci, J.M. (2015). Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. *Soil & Tillage Research*, 148, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.003>



Termal Turizm Yapıları Özelinde Mimari Kimlik Analizi ve Etkileşim Şemasının Oluşturulması: Pamukkale – Karahayıt Örneği

A. Begüm Aköz Çevrimli^{1*}, Şefika Gülin Beyhan²

¹Mimarlık Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye

²Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

Makale Tarihçesi

Gönderim: 28.08.2019
Kabul: 14.09.2020
Yayın: 29.12.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Çevreye ilişkin sosyal, kültürel ve fiziksel özellikler, tasarıma veri sağlayarak yere özgü mimari biçimlerin oluşmasında etkili olmuş ve her çevre kendi kimliğini üretmiştir. Bir bölgenin/yerleşimin/kentin kimliğinin oluşmasında en önemli unsurlardan biri, bina/bina gruplarının kimliğini ortaya koyan mimari kimliktir. Çalışmada, termal turizm faaliyetlerinin gerçekleştiği Karahayıt bölgesinde, 4 ve 5 yıldızlı termal turizm yapılarının mimari biçimlenme ve yerleşme özelliklerinin oluşmasına etki eden ölçütlerin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bölgede farklı konularda yapılmış çalışmalar mevcut olmakla birlikte, konaklama tesisleri özelinde gerçekleştirilen mimari kimlik analizi özgün ve ilk olma özelliği taşımaktadır. Çalışmada, literatür araştırmaları yapılarak ‘Mimari Kimlik Analiz Şeması’ oluşturulmuştur. Bu şema doğrultusunda ise, yerinde gözlem ve derinlemesine görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, mimarın yerleşim ölçeğindeki kararları vermesindeki en önemli faktörün çevresel özellikler olduğu görülmüştür. Bina ölçeğinde verilen kararlarda ise çevresel özelliklerin yanı sıra yasal faktörlerin de etkili olduğu görülmektedir. Elde edilen bulguların yorumlanması ve mimari kimlik bileşenlerinin doğrudan veya dolaylı olarak birbirleri ile etkilenme biçiminin tespit edilmesiyle ‘Mimari Kimlik Etkileşim Şeması’ oluşturulmuştur. Bu şema, bölgenin termal turizm mimarisinin araştırılması ve geleceğe dair planlama tasarım stratejilerinin hazırlanması, tasarım rehberleri içeriğinde bir çalışmanın yürütülebilmesi, farklı bölgelerdeki termal turizm mimarisi karşılaştırmalarının yapılması, elde edilen mimari kimliğin turizm yapılarındaki yerinin tespit edilmesi ve birtakım iyileştirme müdahalelerini gerçekleştirilmesi açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler – Konaklama yapıları, mimari kimlik, mimari biçimlenme, termal turizm, Pamukkale - Karahayıt

The Analysis of Architectural Identity and Formation of Interaction Scheme of Thermal Tourism Buildings: Pamukkale - Karahayıt Case

¹Department of Architecture, Architecture and Design Faculty, Konya Technical University, Konya, Turkey

²Department of Architecture, Architecture Faculty, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey

Article History

Received: 28.08.2019
Accepted: 14.09.2020
Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – Social, cultural and physical characteristics related to the environment provided data to the design, influenced the formation of architectural forms specific to the place, and each environment produced its own identity. One of the most important elements in the formation of a region, settlement and city identity is the architectural identity that reveals the identity of the building / building groups. In the study, it is aimed to reveal the criteria that affect the formation of architectural formation and settlement characteristics of 4 and 5 star thermal tourism buildings in the Karahayıt region where thermal tourism activities take place. Although there are studies on different subjects in the region, the architectural identity analysis performed specifically for accommodation facilities is unique and first. In the study, "Architectural Identity Analysis Chart" was created by conducting literature research. With this scheme, on-site observation and in-depth interviews were carried out. When the findings obtained from the analyzes were evaluated, it was seen that the most important factor in the architect's decision making in the scale of the settlement was the environmental characteristics. On the other hand, it is seen that legal factors as well as environmental characteristics are effective in decisions made at building scale. The "Architectural Identity Interaction Scheme" was created by interpreting the findings and determining the way the architectural identity components are directly or indirectly affected by each other. This scheme is important in terms of researching the thermal tourism architecture of the region and preparing planning design strategies for the future, conducting a study in the content of design guides, making comparisons of thermal tourism architecture in different regions, determining the place of the architectural identity in tourism buildings and performing some improvement interventions.

Keywords – Accommodation buildings, architectural identity, architectural formation, thermal tourism, Pamukkale - Karahayıt

¹ abegumakoz@hotmail.com

² gbeyhan@gmail.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Kişinin bulunduğu yerden başka bir yere farklı istekler doğrultusunda gitmesi ile başlayan turizm faaliyetleri, kişilerin beklentilerindeki farklılıklar ile şekillenmiş ve çeşitli özellikteki turizm türleri meydana gelmiştir. Hızla değişen yaşam koşullarıyla birlikte insanlara farklı çevrelerde, farklı olanaklar sunan alternatif turizm çeşitleri ortaya çıkmış, bu turizm türleri günümüze kadar gelişim göstermiştir ([Şenkaya F., Demirel ve Özkır, 2012](#)). Alternatif turizm türlerinden biri olan termal turizm faaliyetleri ise, termal suların yararlanma esasına dayanmaktadır. Aynı zamanda dinlenme ve eğlenme ihtiyacını da karşılayan bu turizm türü, yeterli tedavi hizmetleri, nitelikli mekânlar, sağlıklı çevre koşulları sağlamanın yanı sıra, insanların dinlenip eğlenebilmesini ve rahatlamasını sağlayacak rekreatif mekânlar sunmaktadır. Termal turizme hizmet eden tesislerin en önemli özelliği; termal su kaynaklarının yer aldığı, nitelikli çevre özelliklerine sahip, temiz havanın bulunduğu yerlerde kuruluyor olmasıdır. Bu özellik termal yapıların, kıyı, sayfiye, dağ, kent, yayla vb. diğer turizm tesislerinden ayrılmasını, yere özgü olarak biçimlenmesini sağlamıştır.

Antik çağlarda sağlık ve dini amaçlarla kullanıldığı bilinen termal sular, Roma döneminden itibaren gelişim göstermiş, pek çok yerde banyo ve kaplıcalar kurulmuştur ([Bennett, King ve Milner, 2004](#)). Süreç içerisinde Avrupa'nın termal turizme verdiği önemle ve yaptığı yatırımlarla termal turizm yeni bir boyut kazanmıştır. Bozulmamış doğal çevre içinde yer alan kaplıcalar, altyapı tesisleri, tedavi merkezleri, tıbbi bakım hizmetleri ile trafik yoğunluğu olmayan tedaviye uygun yer temini sağlanmasıyla önemli sağlık merkezleri haline dönüştürülmüştür ([Akbulut, 2010](#)). Geleneksel kaplıca anlayışının zaman içinde değişime uğramasıyla birlikte ise, konaklama, yeme içme ve spa mekânlarının yer aldığı termal oteller ve tatil köyleri görülmeye başlanmıştır. Bu tesisler, fay hatlarına bağlı olarak gelişen planlama ilkeleri ve yasal gereklilikler çerçevesinde, termal su kaynaklarından en iyi yararlanacak ve termal kaynaklara en az zarar verecek biçimde konumlanmıştır.

Termal turizme ilişkin çalışmalar genel olarak turizm disiplini ele alınmıştır. Planlama ve tasarım alanında ele alınan çalışmalarda ise genel olarak planlama kriterlerinden söz edilmiş, termal suların sahip olduğu potansiyelin doğru değerlendirilmesine ilişkin öneriler geliştirilmiştir ([Erhan Ş., 2010](#); [Güvenç, 2007](#); [Pena, 1987](#)). Pamukkale ve çevresinde gerçekleştirilen çalışmalara bakıldığında ise; genel olarak turizm ve jeoloji alanında çalışmalar yapıldığı görülmektedir. [Beyhan \(2004\)](#) ise, bu çalışmalardan farklı olarak Pamukkale örneği üzerinden sürdürülebilir turizm ve kimlik kavramsal modeli geliştirmiş, yerel ve bölgesel kimliğin sürdürülmesi konularını ele almıştır. Çalışmanın yürütüleceği Karahayıt yerleşiminde yapılmış olan çalışmalar ise genel olarak turizm ekseninde ele alınmıştır.

Bir bölgenin/yerleşimin/kentin kimliğinin oluşmasında bina ve bina gruplarının mimari kimliği en önemli unsurlardan biridir. Çevresel ve toplumsal özellikler ise, yapım sürecinde yapıları biçimlenmesinde etkili olmakta ve yapılar kendi mimari kimliğini inşa etmektedir. Pamukkale – Karahayıt bölgesi, iklimsel koşulları, doğal ve yapay çevre özellikleri, kültürel dokusu ve termal su kaynağının niteliği ile diğer termal turizm merkezlerinden farklı özelliklere sahip, günümüzün önemli yerleşimlerinden birisidir. Bu bağlamda çalışmada; mimari kimlik unsurlarının önemine dikkat çekilmiş ve yakın geçmişte yapılaşmaya başlamış bir turizm yerleşimi olan Karahayıt'ın mimari kimliği ortaya konarak, bundan sonraki süreçte alandaki yapılaşmanın nasıl olabileceği konusunu da tartışmaya açmak açısından önemli bir araştırma problemine değinilmiştir.

Çalışma kapsamında; Pamukkale/Karahayıt bölgesinin turizm geçmişine bağlı olarak gelişimi, turizme ilişkin demografik veriler ve kullanıcı profili, doğal-yapay çevre bileşenleri, toplumsal yapı özellikleri ve planlama kararları araştırılmıştır. Bölgenin kentsel kimliğinin oluşmasında etkili olan bu faktörlerin, o bölgede inşa edilen 4 ve 5 yıldızlı 8 adet termal turizm yapısının mimari bileşenleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada tekil bina ölçeğinde mimari kimlik oluşumundan, yerleşimin biçimlenmesine kadar pek çok konuda araştırma yapılmıştır. Elde edilen bulguların değerlendirilmesiyle doğal ve yapay çevre bileşenlerinin, toplumsal yapının, ekonomik faktörlerin, teknolojinin ve yasal düzenlemelerin bölgede kurulan turizm yapıları üzerindeki etkisi değerlendirilerek yapıların nasıl şekillendiği, hangi etmenlere bağlı olarak mimari

biçimlenmeye ve yerleşme özelliğine sahip olduğunun ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda mimari kimliği etkileyen faktörler ile bu bileşenler arasında doğrudan veya dolaylı şekilde ilişkiler kurulmuştur. Ulaşılan bu ilişkiler ile ‘Mimari Kimlik Etkileşim Şeması’ oluşturulmuştur. Konaklama yapılarında mimari biçimlenmeyi en çok etkileyen bileşenler ve birbiri ile en çok etkileşim gösteren mimari öğeleri tespit edilmiştir. Bu çalışma, diğer çalışmalara sunabileceği veri tabanı imkânı ve çalışmada uygulanan mimari kimlik sorgulaması ile yol gösterici olma potansiyeli taşımaktadır. Çalışmanın amaçları, süreci ve sonuçları değerlendirildiğinde, yapılan çalışma ile termal turizm mimarisi açısından önemli kazanımlar elde edilmiştir. Bu çalışma, bölgenin turizm kimliğinin korunması, mimari kimlik unsurlarının yerinin tespit edilmesi ve geleceğe ilişkin planlama ve tasarım stratejilerinin hazırlanmasına katkı sunacak olması açısından önem taşımaktadır. Son olarak ise Pamukkale’nin UNESCO dünya mirası olması nedeniyle yerleşimin diğer termal turizm alanlarından farklı olarak uluslararası ölçekte turist çekme kabiliyeti ile uluslararası bir mimari tanınırlık ve kabul edilebilirlik düzeyini yakalamasını destekleyeceği düşünülmektedir.

2. Kuramsal Çerçeve

2.1. Kimlik ve Mimari Kimlik Kavramı

Kimlik kavramı çeşitli disiplinlerin araştırmalarında farklı anlamlar içermektedir. Psikoloji alanında bireyin özne olma yeteneğine vurguda bulunan kimlik kavramı, sosyoloji alanında toplum ve birey arasındaki ilişkilere odaklanmaktadır (Özdemir, 2001). Proshansky, Fabian ve Kaminoff (1983) kimliğin; herhangi bir canlının veya objenin görsel, işitsel vb. duyu ile algılanması ile onu diğerlerinden ayıran, kendine özgü olma durumu olduğunu ifade etmektedir. Gündüz (2005) ise, benzer bir tanımla kimliği; bir canlının veya objenin kendine özgü nitelikleriyle diğerlerinden ayrılmasını sağlayan özelliklerin tümü olarak tanımlamaktadır.

Kimlik, bireysel olma yönünün yanında, toplumsal, kültürel ve sosyo-ekonomik olgularla da ilişki içerisindedir. Kimliği kendini ifade etme aracı olarak kullanan toplumlar, diğer toplumlardan kendine özgü özellikleriyle ayrılarak onların belleğinde bir yere sahip olmuşlardır. H.Lefebvre, mekânın çeşitli üretimlerinin farklı toplumsal ve yaratıcı düzenlemeleri ifade ettiğini, böylece toplumların kimliklerinin oluştuğunu ve her toplumun üretim biçiminde ve kültüründe oluşan bir değişimin mekânın üretiminde de değişime neden olduğunu belirtmiştir (Lefebvre, 1991; Topçu, 2011). Kentlerin uzun zaman dilimi içinde geçirmiş olduğu fiziksel, mekânsal, siyasal, kültürel ve ekonomik boyutlardaki değişim ve dönüşümler ile oluşan değerler kentlerin birbirinden farklılaşmasına neden olmuştur (Kodal ve Demirel, 2014). Böylece kentler de tıpkı bireyler ve toplumlar gibi belirli sıfatlar edinmiş ve bu sıfatlar ile bütünleşmiştir (Turgut, Özalp Yavuz ve Erdoğan, 2012).

Ocakçı ve Türk (2012), bir yerin kimliğini o yeri diğerlerinden farklı kılan sürekli benzerlikleri ve birliktelikleri olarak tanımlamış, bu benzerlik ve birlikteliklerle oluşan kimliğin, büyük ölçüde insanların o yer ile kurduğu etkileşim ve deneyimlere bağlı olarak gelişim gösterdiğini ifade etmiştir. Yer in ruhunu içinde barındıran her yer kendi belleğine ve anlamına sahiptir. Bu nedenle yere ait özellikler özgündür ve o yeri diğerlerinden ayırarak yerel kimliği oluşturmaktadır (Ayyıldız ve Ertürk, 2016). Bu bağlamda, toplumların kültürel özelliklerinin, kullanıcı kimliklerinin, doğal çevre özelliklerinin farklılaşması ile kentler birbirinden farklı kimlikler üretmektedir. Bu farklılıklara bağlı olarak her çevre kendine özgü nitelikleri ile o çevrede yapılacak olan tasarıma yerel veri sağlamakta, yapı kendi mimari biçimini oluşturmuştur (Erman ve Yılmaz, 2017).

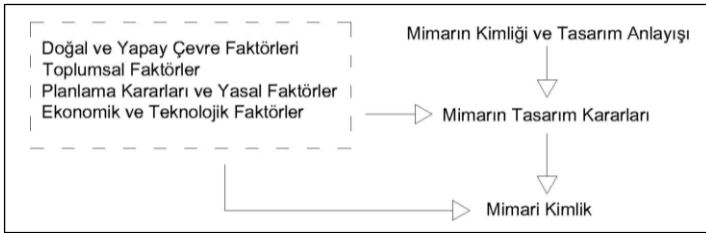
Hacıhasanoğlu (1996), mimari kimliğin, kültürel ve kentsel kimlik sistemlerinin açılımı olarak kent ve koruma planları, mimari üsluplar, mimari diller, yapı ve çevre oluşturma politikaları, malzeme ve teknoloji, çevreye karşı davranışlar ve tutumlar ile etkileşim içinde olan, mimar veya kullanıcı tarafından bina ve yakın çevresinde oluşturulan ayırt edici özellikler ile belirlendiğini ifade etmiştir. Aynı zamanda kentsel ve mimari kimliğin zaman içinde değişim gösterebileceğini, ancak bu değişimin kentin büyük ölçüde karakterini etkilediği anda önemli sorunların oluşmaya başlayacağını belirtmiştir. Broadbent, ise iklimsel, kültürel, toplumsal verilerin oluşturduğu çevrelerin, tasarımcının biçimlendirme etkinliğini doğrudan yönlendiren imaj

kaynağı olduğunu belirtmiştir (Broadbent, 1973). Çöl (1998) ve Castells (2006) ise kimliğin zaman yönüne vurgu yapmış, kimliğin oluşmasında etkili olan unsurların zaman içinde değişmesi ve gelişmesi ile birlikte kimliğin de yeniden biçimlenerek sürekli gelişim halinde olduğunu belirtmiştir. Rapoport (2004), toplumun kültürel özelliklerinin mimari biçimlenme ve kimlik üzerindeki etkisine vurgu yaparken, Correa (1983) ise mimari kimliğin oluşumunda çevre ve iklim özelliklerinin önemine vurgu yapmıştır. Polat (2011) ise, farklı kuramsal yaklaşımlardan yola çıkarak mimari kimliğin, sosyo-ekonomik yapı (kültür, iktidar, teknoloji vb.), fiziksel yapı (konum, arazi, iklim, coğrafi özellikler vb.), tasarım süreci (kullanıcı gereksinimleri, mimar profili, işlev, biçim, tasarım yaklaşımları vb.), kullanım süreci (mekansal davranış, deneyim, sembolik anlam) ve zaman(süreklilik, değişim vb.) gibi unsurların etkisi ile oluştuğunu belirtmiştir.

Bu bağlamda yapılan araştırmalardan elde edilen çıkarımlar doğrultusunda, yapıların mimari biçimleniş ve yerleşim özelliklerinin oluşmasında etkili olan unsurlar ise genel olarak şu şekilde ifade edilebilmektedir;

- İklim, topoğrafya, güneşlenme yönü, manzara, doğal ve yapay çevre özelliklerinin oluşturduğu çevresel faktörler
- Kültürel özellikler, yaşam biçimi, yapım geleneği, bölgenin mimari geleneği gibi toplumsal faktörler
- Ekonomik ve teknolojik faktörler
- Yerleşimin ve yapıların mimari biçimlenmesinde, bölge için alınmış planlama kararları ve imar kararları gibi yasal faktörler.

Yere ait tüm bu veriler, mimari tasarımda yerleşim ve bina ölçeğinde mimarın tasarım kararlarını etkileyerek yerleşim düzenine, yapının biçimi ve strüktürel elemanlarına, mekâna ait kurgu ve kompozisyon özelliklerine, mekâna ve cepheye ait renk, doku, malzeme gibi fiziksel özelliklere, cephede mimari elemanların kullanım biçimlerine yansımakta ve mimari kimlik bu bileşenler üzerinden okunabilmektedir (bkz. Şekil 1).



Şekil 1. Mimari kimlik oluşumuna etki eden faktörler

2.2. Turizm Mimarisi

2. Dünya Savaşı sonrası gelişen ulaşım imkanları ile zorunluluklardan doğan seyahat rotaları değişmiş, istenilen her bölgeye gidilebilme imkânı oluşmuş, seyahatin yapıldığı yer önem kazanmaya başlamıştır. Yerin önem kazanması ile yerin sağladığı imkana bağlı olarak beğeniye göre tercih yapma durumu ortaya çıkmıştır (Akkaya ve Usman, 2012). Yerin sunduğu bu imkân ve çeşitlilik ise alternatif turizm türlerinin oluşmasını sağlamış, farklı amaca hizmet eden konaklama tesisleri kurulmuştur.

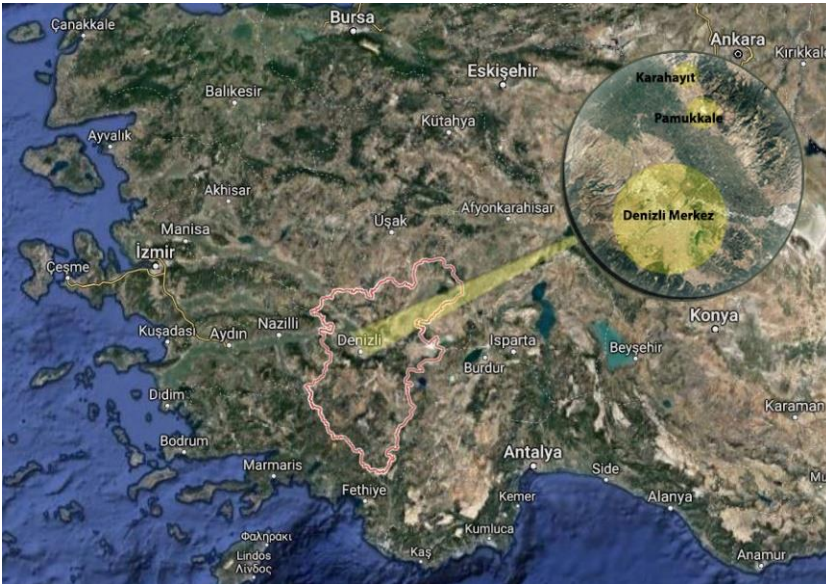
İnsanların giderek artan yeni yerler görme, tanıma, tanışma, paylaşma isteği ile gelişen turizm olgusu çağımızın vazgeçilmez endüstrilerinden biri haline gelmiştir. Turizmin sosyal kültürel ve ekonomik yapısında meydana gelen bu değişimler turistik olarak gelişen bölgelerin çevresel karakterini etkilemiş bu bağlamda turizm alanına hizmet eden turizm yapılarını da etki alanı içine almıştır (Beyhan ve Ünügör, 2006).

Akkaya ve Usman (2012), turizmin en genel hedeflerinin, yerellik, bölgeye özgü kimlik ve sürdürülebilirlik kavramları çerçevesinde incelenmesi gerektiğini belirtmiştir. Yöresel anlayış sunan tasarımlar, çevrenin kültürüne uygun biçimler üretebildiği, birey-çevre ve teknoloji arasında ilişkiyi kurabilen bir sisteme sahip olabildiği ve biçimlerin ötesinde yöre halkına ait anlamları kullanabildiği ölçüde başarılı olarak görülmüştür (Kancıoğlu, 2006). Bu bağlamda turizm yapılarının ve turizm destinasyonlarının sürdürülebilirliğini sağlamak adına çevrenin sosyal-kültürel özellikleri, iklimsel veriler, kullanıcının fiziksel, sosyal ve psikolojik gereksinimleri göz önüne alınarak tasarımlar yapılması önemli hale gelmiştir.

3. Materyal

Denizli ili tekstil, ticaret, tarım ve sanayi gibi sektörlerin yanı sıra sahip olduğu kültür ve turizm değerleri ile bugün önemli bir turizm kenti olma özelliği göstermektedir. Kent, eski çağlardan bu yana pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış ve çeşitli kültürlerle tanıklık etmiş yerleşimlerden biridir (Anonim, 2020a). Farklı kültürlerle ait özellikler ise bölgedeki yaşantıyı, mimariyi, el sanatlarını, alışkanlıkları, yeme – içme biçimini etkilemiştir.

Akdeniz ve İç Anadolu Bölgesi arasında kavşak niteliğinde olan Denizli ili demiryolu ve karayolu ulaşım ağları üzerinde bulunmakta olup 2 bölge arasında geçiş noktası olma özelliği taşımaktadır (bkz. Şekil 2). Denizli'nin 20 km kuzeyinde yer alan Pamukkale ilçesi ve ilçeye bağlı Karahayıt yerleşimi, sahip olduğu termal su kaynakları, bu termal su kaynaklarının oluşturduğu jeolojik şekiller, doğal çevre özellikleri, Hierapolis, Laodikeia gibi arkeolojik sit alanları ile Türkiye'de ve dünyada tanınan, kültür turizmi ve termal turizm kapsamında pek çok yerli ve yabancı turist tarafından ziyaret edilen bir destinasyon merkezi olmuştur. Yerli ve yabancı turistler, UNESCO Dünya Miras Listesi'nde yer alan Pamukkale travertenlerini görmek için bu bölgeyi her yıl sıklıkla ziyaret etmektedir.



Şekil 2. Pamukkale ve Karahayıt'ın Denizli ilindeki ve Türkiye'deki coğrafi konumu

Doğal güzellikleri ve yöreye özgü termal su kaynaklarının oluşturmuş olduğu travertenler ile bilinen Pamukkale, 1990 yılında Özel Çevre Koruma Bölgesi ilan edilmiştir. Travertenleri korumak, çevre kirliliğini önlemek ve travertenlerin yapısını bozan düzensiz yapılaşmanın verdiği olumsuz sonuçların önüne geçmek amacıyla bölgeye yönelik birtakım planlama kararları ve projeler geliştirilmiştir. Bu kararlardan biri olan Pamukkale Koruma ve Geliştirme Projesi'nde üzerinde durulan en önemli nokta sit bölgesinde alanı tahrip eden tesislerin yıkımı olmuştur (Önez, 2008). Pamukkale'deki tesislerin yıkımının ardından Karahayıt kasabası termal turizm faaliyetlerinin gelişimine uygun olarak görülmüş, Karahayıt için 1/1000 ölçekli Uygulama İmar Planı çizilmiş, yerleşim bu doğrultuda gelişme göstermiştir.

Pamukkale'deki tesislerin yıkımı ile konaklama mekânı ihtiyacını karşılamak üzere Pamukkale'ye yakın konumda yer alan Karahayıt kasabasının turizm yerleşim alanı kimliği kazandığı bilinmektedir. Ancak; süreç içerisinde hızlı karar verme ve inşa şekli, turist profiline iyi irdelenmemesi, mekân gereksinimlerinin detaylı analizlerinin yapılmaması gibi nedenler, mimari mekân kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir. Bu bağlamda; Karahayıt yerleşim alanının ve bu alandaki termal turizm konaklama yapılarının materyal olarak seçilmesi durumu; bahsi geçen sorunsal irdelenmek, soruna çözümler üretmek ve iyileştirmelerin alanın mekân ve turizm kalitesine fayda sağlayacağı düşünülerek gerçekleştirilmiştir.

3.1. Karahayıt Bölgesine İlişkin Doğal ve Yapay Çevre Bileşenleri

Pamukkale'ye bağlı bir yerleşim olan Karahayıt kasabası, Yenice Horstu üzerinde Çürüksu Vadisi'ne doğru alçalan hafif eğimli bir arazi üzerine kurulmuş bir yerleşimdir. Pamukkale fay hattına yakın olarak yer alan bu yerleşim, sahip olduğu havanın niteliği, iklim özellikleri, doğal/yapay çevre özellikleri ve en önemlisi de termal su kaynakları ile diğer termal turizm bölgelerinden farklılaşmış ve zaman içinde cazibe merkezi haline gelmiştir. Bölgede yazlar genel olarak sıcak ve kurak geçse de zaman zaman karasal iklimin etkileri görülebilmektedir. Kışlar ise ılık ve yağışlı geçmekte olup don olaylarına pek rastlanılmamaktadır (Anonim, 2020b). Mevsim sıcaklıklarının ortalama düzeyde olması ve sıcak termal suyun kullanımı üzerine benimsenmiş olan turizm anlayışı bu bölgede turizm faaliyetlerinin 12 ay boyunca devam etmesini sağlamıştır.

Karahayıt bölgesinde çıkan termal su taşımış olduğu maden oksitleri ile birlikte Pamukkale termal su kaynaklarının içeriğinden farklılık göstermiş (Bertan, 2010), eğim boyunca akan suyun oluşturmuş olduğu kaskatlar suyun içeriği nedeni ile kırmızı-yeşil-sarı tonlarında rengârenk bir görünüm almıştır (bkz. Şekil 3). Kırmızı suyun meydana getirdiği doğal oluşum şekli, yerleşimin yanı sıra konaklama yapılarının peyzaj alanlarında sıklıkla kullanılmış ve yerleşime kimlik kazandıran görsel bir imge olarak öne çıkmıştır.



Şekil 3. Karahayıt'ta termal suyun temas yüzeyinde oluşturduğu renk (Kişisel arşiv, 2017)

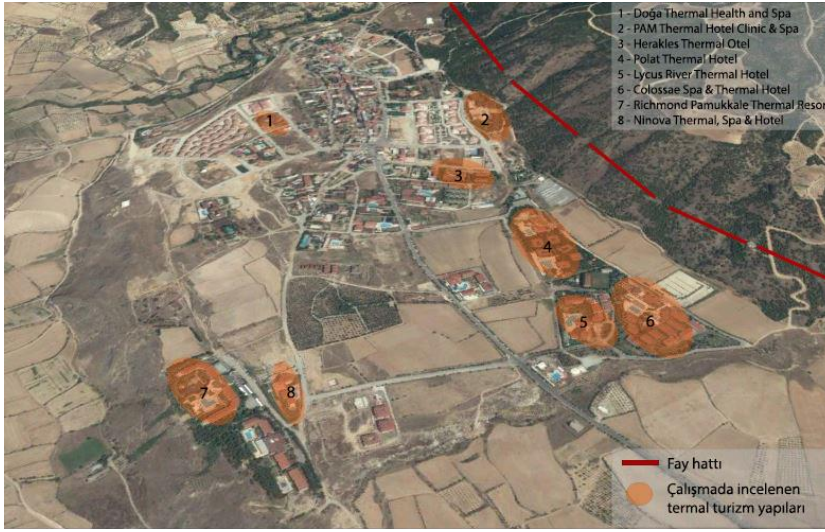
3.2. Karahayıt Bölgesi'nde Termal Turizmin Gelişimi

Pamukkale ve çevresinde termal kaynaklardan çıkan termal suların sahip olduğu kimyasal içeriğin iyileştirici özelliğinin antik dönemlerde keşfedilmesi ile bu sulardan yararlanılmak istenmiş, o zamanın koşullarında bölgeye hamamlar inşa edilmiştir (Doğaner, 1996). Pamukkale ve çevresinde yıkanma kültürünün bugün de devam etmesiyle kaplıca anlayışı gelişmiş, bu bölge Türkiye'deki termal turizm merkezlerinden biri olmuştur. Pamukkale ve çevresinde çeşitli termal su kaynakları bulunmaktadır. Mısır Kraliçesi Kleopatra'nın yıkandığı ve çamur banyosu yaptığı kaplıca olarak bilinen Karahayıt da bu kaynaklardan biridir (Başkan, 2009).

Günümüzde Karahayıt'ın turizm alanındaki ilk girişimleri 1970'li yıllarda ev pansiyonculuğu şeklinde başlamış, pek çok yerli turist termal sudan yararlanmak, şifa bulmak için bu pansiyonlarda konaklamıştır (Anonim, 2020c). Bugün sayısı 100'den fazla olan apart ve pansiyonlar verdikleri hizmetle tedavi olmak amacıyla gelen yerli turistlere hizmet etmektedir. Süreç içinde alternatif turizm türlerinin gelişmesi ve beklentilerin artması ile turizm aktivitelerine hizmet eden konaklama yapılarından da beklentiler artmış, nitelikli mekânlara ihtiyaç duyulmuştur. Pansiyon ve apartların bugünün koşullarına uyum sağlayamaması, mekânsal yetersizlik ve nitelik kaybı nedeniyle Karahayıt'a yıldızlı termal tesisler yapılmıştır. Yapılan yıldızlı oteller, klinik, kür merkezi gibi tedavi mekânları ile termal turizm açısından tercih edilebilir hale gelmiştir.

Çalışmada ele alınan 8 otelden Colossae Spa & Thermal Hotel, Richmond Pamukkale Thermal Resort, PAM Thermal Hotel Clinic & Spa, Polat Thermal Hotel, Lycus River Thermal Hotel, Herakles Thermal Otel 1989-1993 tarihleri arasında yapılmış, zaman içerisinde yenilenme ve düzenlenmeler geçirmiştir. Doğa Thermal Health & Spa ve Ninova Thermal, Spa & Hotel ise 2014-2015 yıllarında yapılmıştır. Otellerin oda sayısı 230-300 arası değişkenlik göstermekle birlikte kısıtlı parsel alanına sahip Doğa Thermal Health & Spa, Ninova Thermal, Herakles Thermal Otelin oda sayısı ise 90-130 arası değişmektedir. Çalışmanın yapılmış olduğu

2017-2018 yılları arasındaki süreçte yapım aşamasındaki ve tadilat sürecindeki 4-5 yıldızlı oteller çalışmaya dahil edilmemiştir. Çalışma kapsamında ele alınan oteller harita üzerinde gösterilmiştir (bkz. Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma kapsamında ele alınacak otellerin harita üzerinde konumlarının gösterimi

3.3. Karahayit Bölgesi'nde Termal Turizm Yapılarının Kullanıcı Profili

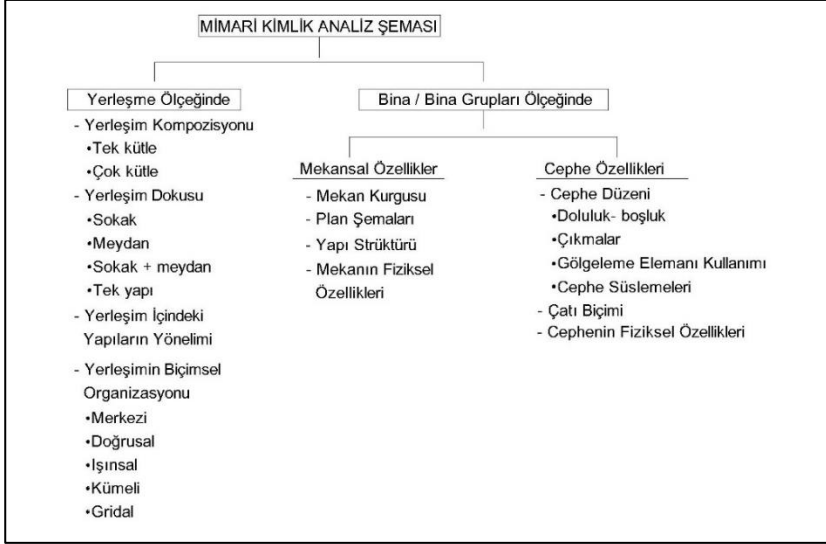
Türkiye'nin önemli termal turizm destinasyonlarından biri olan Karahayit, sahip olduğu mekânsal çeşitlilik nedeniyle farklı gelir grubunda ve farklı yaş aralığındaki kişilere hizmet etmektedir. Apart ve pansiyonlar genel olarak düşük veya orta gelire sahip, 50 yaş üstü yerli turist grubuna hizmet ederken, yıldızlı oteller ise 25 – 60 yaş aralığında orta ve yüksek gelire sahip kesim tarafından tercih edilmektedir.

Önceleri kaplıca anlayışı olarak, apart ve pansiyonculukla adını duyurmuş olan bu bölgede, kişilerin turizm faaliyetlerinden beklentilerinin artması ile yıldızlı konaklama tesisleri inşa edilmiş, konaklayan turistin yaş ortalaması düşmüştür. Yaş aralığının geniş yelpazede olması termal tesislerden beklentilerin artmasına neden olmuş, farklı türde aktivitelerin gerçekleştiği geniş rekreasyon alanları, eğlence mekanları tasarlanmıştır. Tesisin verdiği hizmete bağlı olarak da otellerin konseptleri farklılaşmış, kişi ihtiyacı ve istekleri doğrultusunda gideceği tesisi belirler duruma gelmiştir.

Karahayit'ta yıldızlı konaklama yapıları bugün genel olarak yerli turistten çok yabancı günübirlik konaklayan turist kabilelerini ağırlamaktadır. Kültür turizmi kapsamında Pamukkale ve çevresindeki antik yerleşimleri gezme amacı ile gelen yabancı turistler, bu gezileri sırasında Karahayit'ta termal otellerde konaklamakta ve termal suyu deneyimlemektedir. Bölgede kültür turizminin yoğun olarak gerçekleşmesi ise, Karahayit'ın günübirlik veya kısa süreli konaklamalı bir turizm bölgesi haline gelmesine neden olmaktadır. Yerli turistlerin bu tesislere geliş amacı ise genel olarak dinlenmek, eğlenmek, sağlığına kavuşmak ve günlük hayatın stresinden kurtulmaktır. Özel sağlık sorunu olan kişiler bu bölgede özel tedavi hizmeti veren tesisleri tercih etmektedirler. Doktor eşliğinde yürütülen tedaviler için uygun kür süreleri alanında uzman kişilerce belirlenmektedir. Bu kişiler günlük belirlenen saatler doğrultusunda termal sularından faydalanırlar. Geriye kalan zamanları ise otel içinde farklı rekreatif faaliyetlerde bulunarak geçirirler. Otelde kalış süresi ise beklenen hizmete bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Tedavi olma amacı taşıyan kişilerde kalış süresi kür uygulamalarının uzunluğuna bağlı olmakla birlikte 5-10 gün arasında değişirken, eğlenmek, dinlenmek ve günlük hayatın stresinden kurtulmak kişilerin tesiste konaklama süresi ise ortalama 2-3 gündür. Yerleşimin özgün niteliğe sahip olması, çevreye ilişkin verileri dikkate alarak bu yapıların tasarlanmış olması, huzur verici ve dinlendirici algı yaratması, yerli ve yabancı turistlerin ilgisini oldukça çekmekte olup turizmin sürdürülebilirliği için önem taşımaktadır.

4. Yöntem

Termal turizm mimarisinin, çevre verileri ile ilişkisini analiz etmek adına gerçekleştirilen çalışmada, kentin kimliğini oluşturmada etkili olan çevresel, toplumsal, yasal ve teknolojik faktörlerin, yerleşim ve bina ölçeğinde mimari kimliğin oluşmasına etkisi literatür araştırmaları sonucunda elde edilen ‘Mimari Kimlik Analiz Şeması’ üzerinden araştırılmıştır (bkz. Şekil 5).



Şekil 5. Mimari kimlik analiz şeması

Konaklama yapılarına ait özelliklerin araştırılması sırasında mimari kimlik analiz şeması üzerinden yerinde gözlem ve derinlemesine görüşmeler yapılmıştır. Karahayıt'ta mimari kimlik analizi yapılan turizm tesislerinin mimari projesini çizen mimarlar, otel yöneticileri, Pamukkale Belediyesi-İmar ve Şehircilik Müdürlüğü yetkilileri, Denizli İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nde çalışan kişiler görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Turizm tesislerinin mimari projesini çizen mimarlara, mimari kimlik analiz şeması üzerinden, çevresel faktörler, yerleşimin kültürel özellikleri, yasal faktörler ve ekonomik, teknolojik faktörlerin, yapı tasarımını ne derece etkilediği sorulmuştur. Görüşmelerin yanı sıra Pamukkale/Karahayıt Bölgesine dair 1969 tarihli Pamukkale Milli Park temel kararları, 1993 tarihli Pamukkale Özel Çevre Koruma Çevre Düzeni Planı, 1991 Tarihli Koruma Amaçlı İmar Planı, 2002 Tarihli Toplumsal Kalkınma ve Yönetim Sunum Planı, Denizli Karahayıt Bölgesi 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Notları ve Hükümleri, vb. ilgili planlama çalışmaları Karahayıt Bölgesindeki termal turizm yapılaşma durumu ve geleceğini etkileyen karar ve çalışmalar incelenmiştir (bkz. Şekil 6). Makale kapsamında oluşturulan araştırma sistematüğünde, bahsi geçen çalışmalar ve Karahayıt Bölgesinin yapılaşma durumuna etkileri veri olarak kullanılmıştır. Araştırmalardan elde edilen bulgular ise fotoğraflar, haritalar, şemalar ve çizelgeler üzerinden aktarılmıştır.



Şekil 6. Araştırmanın akış şeması

5. Bulgular

Pamukkale fay hattının uzandığı Karahayıt yerleşimi nitelikli özelliklere sahip termal su kaynakları ile bölgedeki turizm faaliyetlerinin gelişmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Günümüz koşullarında termal suyun kullanıldığı kaplıca mekânlarının nitelik olarak yetersiz kalması ve beklentilerin artması ile termal turizme hizmet eden oteller kurulmuştur. Bu oteller tedavi hizmeti vermenin yanı sıra konaklayan kişilerin günün stresinden kurtulup rahatlamasını sağlayacak rekreatif mekânları da barındırmıştır. Kaynaklardan en iyi şekilde yararlanma esasında hizmet veren bu otellere termal su özelliğini kaybetmeyecek şekilde belirli yöntemlerle taşınmaktadır. Termal turizm yapılarının termal sularından yararlanma tavrı üzerine olması, bu yapıların planlama ve tasarım sürecini diğer turizm yapılarından farklı kılmıştır. Planlama ve tasarım süreci içinde yere ilişkin özelliklerin mimari tasarıma veri sağlaması ile termal turizm yapıları kendi mimari kimliğini üretmiştir. Yerleşim ve mekân ölçeğinde yapılmış olan analizler, yerinde gözlemler ve derinlemesine görüşmeler ile birlikte yorumlanarak başlıklar altında verilmiştir.

5.1. Yerleşim ölçeğinde analiz

Yerleşim ölçeğinde yapılan mimari kimlik analizi kapsamında yerleşim içindeki bina/bina gruplarının yerleşim kompozisyonu, yerleşim dokusu, yönelimi ve organizasyon biçimi araştırılmıştır. Karahayıt kasabesindeki termal turizm yapılarının yerleşim düzeni gösterilmiştir (bkz. Şekil 7).

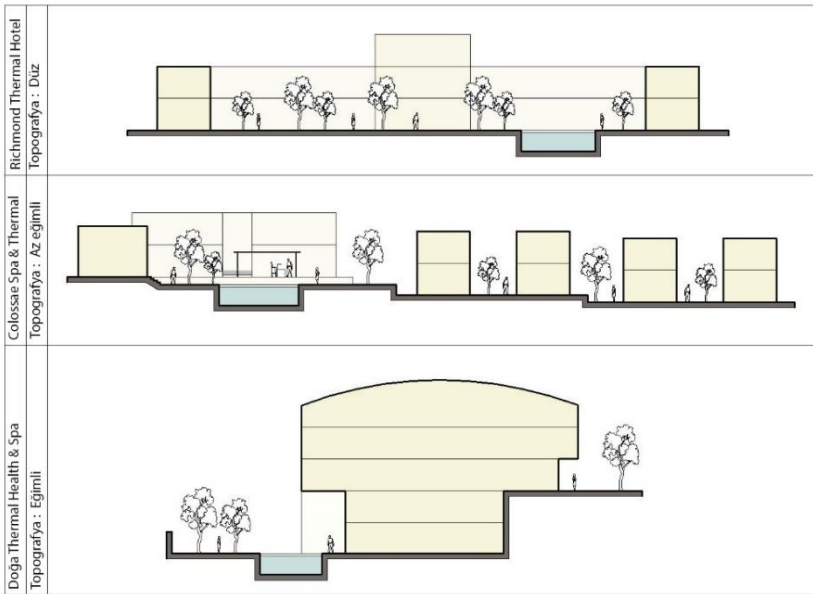
<p>Colossae Spa&Thermal Hotel</p> <p>Yerleşim Kompozisyonu: Çok kütleli Yerleşim Dokusu: Meydan+Sokak Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu: Gridal</p>	<p>Pam Thermal Hotel Clinic & Spa</p> <p>Yerleşim Kompozisyonu: Çok kütleli Yerleşim Dokusu: Meydan Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu: Doğrusal</p>	<p>Richmond Pamukkale Thermal Hotel</p> <p>Yerleşim Kompozisyonu: Tek kütleli Yerleşim Dokusu: Meydan Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu: Doğrusal</p>
<p>Lycus River Thermal Hotel</p> <p>Yerleşim Kompozisyonu: Çok kütleli Yerleşim Dokusu: Meydan Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu: Kümeli</p>	<p>Doğa Thermal Health & Spa</p> <p>Yerleşim Kompozisyonu: Tek kütle Yerleşim Dokusu: ----- Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu: Merkezi</p>	<p>Polat Thermal Hotel</p> <p>Yerleşim Kompozisyonu: Çok kütleli Yerleşim Dokusu: Meydan+Sokak Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu: Kümeli</p>
<p>Herakles Thermal Otel</p> <p>Yerleşim Kompozisyonu: Çok kütleli Yerleşim Dokusu: Meydan+Sokak Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu: Gridal</p>	<p>Sebur Ninova Thermal Hotel</p> <p>Yerleşim Kompozisyonu: Çok kütleli Yerleşim Dokusu: ----- Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu: Kümeli</p>	

Şekil 7. Termal turizm yapılarının yerleşim özellikleri (Anonim, 2020d, 2020e, 2020f, 2020g, 2020h)

Yerleşim kompozisyonu: Fiziksel çevre faktörlerinin yerleşim kompozisyonu üzerinde etkili olduğu yerinde yapılan gözlem ve mimarlarla yapılan görüşmeler sonucunda tespit edilmiştir. Bölgede iklimin elverişli olması rekreatif mekânların kullanımını artırmış, termal turizm yapılarının çok kütleli olarak tasarlanmasında etkili olmuştur. Yerleşim içinde birbirinden ayrı olan binalar saçaklar, gölgelendirme elemanları ve köprüler ile birbirine bağlanmış, bu elemanlar yazın gölge mekân oluştururken, kışın ise yağmurlu havalarda binalar arası geçişi kolaylaştırmak amacı ile kullanılmıştır. Yapılan görüşmelerden elde edilen bilgiye göre topografyanın

az eğimli olmasının avantajı kullanılarak yerleşimde farklı işlev gruplarına hizmet eden bina/bina grupları çok kütleli olarak tasarlanmıştır. Yine görüşmelerden elde edilen bilgiye göre iklim ve topografyanın yanı sıra, planlama kararlarında imar hakkının tanımış olduğu yapı gabarisi ve blok boyu hakkındaki kısıtlayıcı hükümler mekânların geniş arazi kullanımını içinde çok kütleli olarak tasarlanmasını gerektirmiştir. Süreç içinde değişen planlama kararları ve yeni yasal düzenlemeler ise bugün bölgede yapılan yeni turizm tesislerinin kütle kompozisyonlarını etkileyebilmekte, yerleşimde tek kütleli yapılar görülebilmektedir.

Yerleşimin dokusu: Termal turizm yapıları, genel olarak meydan kurgusu ile tasarlanmış ve bu mekânlarda kür merkezi, havuz, yeşil alanlar, yürüyüş yolları gibi çeşitli türde aktivitelere hizmet eden mekânlar kurgulanmıştır. Bu işlevleri barındıran geniş rekreatif alanlar, yerleşimdeki yapılar için manzara niteliği oluşturmanın yanı sıra kullanıcılar için de ortak toplanma mekânı olmuştur. Termal sular geçmişte de meydan gibi toplanma alanlarında yer almış, bu ortak mekânlarda yer alan havuzlardan toplu şekilde yararlanılmıştır. Görüşmelerden elde edilen bilgilere göre toplanma noktalarında kurgulanmış sıcak su havuzları, toplu şekilde yıkanma anlayışını sürdürmek amacı ile önemli görülen noktalara, bazen mahremiyeti sağlayacak şekilde bazen de odak noktası olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yerleşim dokusunu etkileyen bir diğer faktör ise topografya olmuştur. Analiz edilen yapılar içerisinde eğimli bir arazide yer alan Doğa Thermal Health & Spa arazide tek kütle olarak konumlanırken, az eğimli veya düz bir arazide yer alan diğer otellerin yerleşim dokusu ise meydan ve/veya sokak düzenindedir (bkz. Şekil 8).



Şekil 8. Termal turizm yapılarının yerleşim özellikleri, şematik arazi kesitleri

Yerleşimdeki yapıların yönelimi: Termal turizm yapılarının genel olarak içe doğru yönelmesinin yapay ve doğal çevre özellikleri ile doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir. Görüşmelerden elde edilen bilgilere göre mimarlar, manzaranın etkinliğine bağlı olarak yapıları içe veya dışa doğru yönlendirmiştir. İçe doğru yönelimlerde yapıların sınırladığı ve yönelim gösterdiği bu mekân çeşitli aktivitelerin yer aldığı meydan kurgusuyla tasarlanmıştır. Rekreatif alanlar güneş ışığından maksimum yararlanacak biçimde düzenlenmiş, yerleşimdeki binalar ise rekreatif mekânlara gölgenin düşmesini engelleyecek ve maksimum güneş ışığını gün boyu sağlayacak şekilde konumlanmıştır.

Yerleşimin biçimsel organizasyonu: Tasarımcı, yerleşimin biçimsel organizasyonuna karar verirken manzara, güneşlenme yönü ve yapay çevre özellikleri gibi etkenleri dikkate alarak yerleşim kurgusunu oluşturmuştur. Bina gruplarında farklı işlevlere hizmet eden konaklama mekânları, rekreatif mekânlar, sosyal mekânlar birbiri ile ilişkiyi koruyacak şekilde kendi aralarında kümelenmiş gözlemlenmiştir.

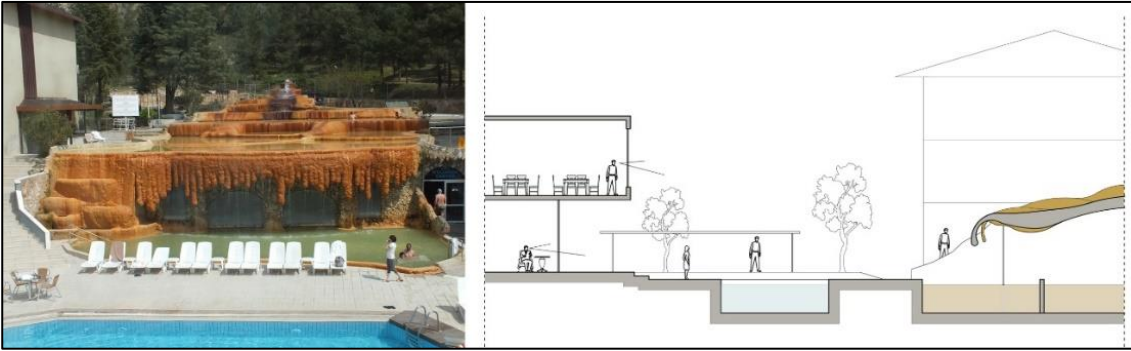
5.2. Bina/bina grupları ölçeğinde analiz

5.2.1. Mekânsal özellikler

Termal turizm yapılarının diğer turizm tesislerinden en belirgin farklılığı tedavi olanağı sunmasıdır. Tesislerin tedavi hizmeti veriyor olması, yerleşimin sahip olduğu kaynaklara bağlı olarak değişebilmektedir. Pamukkale-Karahayıt bölgesinde kaynak sularının tedavi edici özelliği bu bölgeyi ayrıcalıklı kılmıştır. Turizm komplekslerinde tedavi birimleri, kür parkları ve kür merkezleri yer almakta, bu mekânlar sahip olduğu işleve bağlı olarak farklı fonksiyondaki mekânlar ve dış mekân ile ilişkili bir şekilde tasarlanmaktadır.

Mekân kurgusu: Karahayıt'taki termal turizm yapılarının dış ve iç mekân kurgusunu şekillendiren en önemli öge tedavi hizmeti veren birimler olarak kür parkı, termal su havuzları ve tedavi merkezidir. Yapılan görüşmelerden elde edilen bilgiler doğrultusunda, termal tesislerde oluşturulan mekân kurgusunda, tedavi alacak kişilerin tedavi mekânlarını rahat ve etkin olarak kullanabilmesi önemsenmiştir. İklimin elverişli olması ise dış mekâna açılan termal havuzların yıl içinde uzun süreli kullanımına imkân tanımaktadır. Termal hizmet veren bu mekânların konaklama birimlerinden kolaylıkla erişim sağlanabilen, genel olarak meydan kurgusu ile oluşmuş rekreatif mekânlar içerisinde, termal su kaynağının çıkış noktasında konumlandığı görülmektedir. Termal havuzlar sıcak su kullanımı esasıyla dış mekân ile bütüncül olarak tasarlanmış ve kapalı mekândaki buhar oluşumu engellenmeye çalışılmıştır. Yine görüşmelerden elde edilen bilgilere göre termal havuzlar geçmiş kullanımlarında olduğu gibi oturarak yıkanma veya suya temas etme işlevi üzerinden kurgulanmış, basamaklı oturma yerleri tasarlanmıştır.

Kür parkı tedavi sunmanın yanı sıra tasarımcı tarafından önemli bir peyzaj ögesi olarak görülmüş, yapı gruplarının konumlanmasında etkili olmuştur. Aynı zamanda doğal çevrenin niteliği, dış mekân kullanımını artırmış, termal havuzlar dış mekânda önemli noktalarda konumlanarak manzara oluşturmuştur (bkz. Şekil 9).



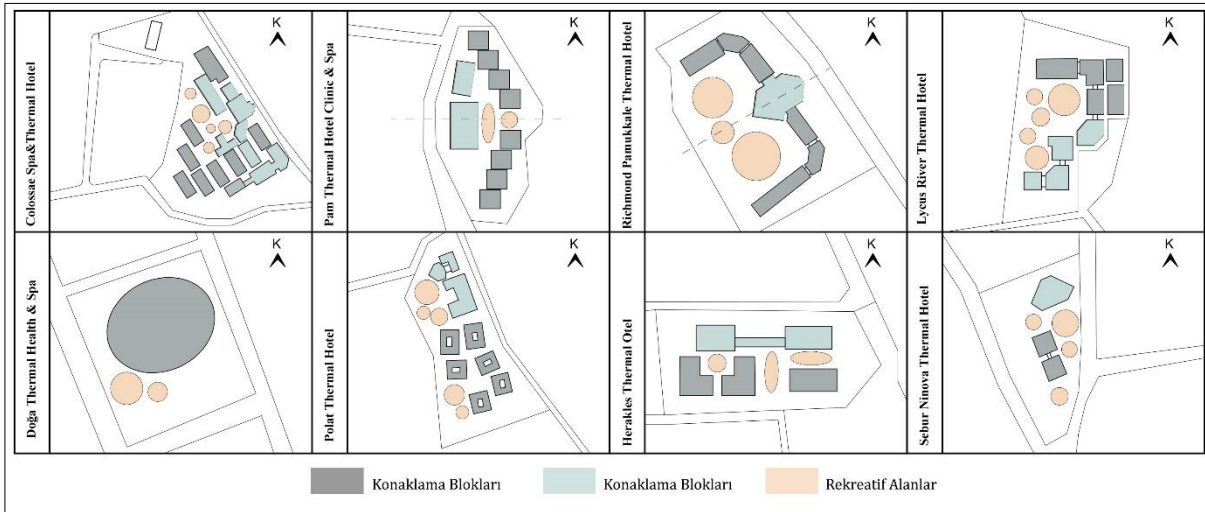
Şekil 9. Pam Thermal Hotel Clinic Spa, solda kür parkı (Kişisel arşiv, 2017), sağda şematik kesit

Lobi, restoran, spa ve kapalı havuz gibi ortak mekânlar birbiri ile yakın konumlanmış ve kür merkezi ile ilişkili olarak tasarlanmıştır. Açık rekreatif mekânlar genel olarak batı yönünde yer alırken, bina grupları ise mekânın güneş ışığı etkisini kesmeyecek biçimde konumlanmıştır. Yatma eyleminin gerçekleştiği mekânlar ise, kişilerin dinlenme, huzur bulma, stresten arınma gibi beklentiler ile gürültüden ve ortak mekânlardan uzak, yeşil rekreatif alanlar içerisinde yer almıştır. Birbirinden ayrı veya bir bütün olarak tasarlanan yatma mekânlarının bulunduğu bloklar açık veya yarı açık yatay sirkülasyonlar ile birbirine bağlanmıştır.

Plan Şemaları: Yapının formu ve mekânların kurgulanma biçimi mekân kompozisyonunu doğrudan etkilemiştir. Bu doğrultuda oluşturulan plan şemalarında, manzara, güneşlenme yönü ve yapay çevre özellikleri mimarın tasarım anlayışı üzerinde etkili olmuş, mekânların yönelimi ve yerleşimi bu doğrultuda oluşturulmuştur. İmar kararlarının bölgeye tanıdığı maksimum kat izni ise yapıların kat yüksekliğinin belirlenmesinde en önemli etken olmuştur. Yapılar genel olarak 2 katlı olarak düzenlenmiştir. Plan şemaları genel olarak yalın form olarak dikdörtgen ve kare biçimlerin bir araya gelmesi ile oluşturulmuştur. Ancak bazı yapılarda mimarın tasarım kararı ile birlikte teknoloji ve yapım sistemlerinin gelişmesi, tasarımcıyı farklı form

arayışları içine sokmuş, daha özgün ve alışılmışın dışında tasarımlar ortaya koyma durumunu beraberinde getirmiştir. Bu faktörlerin yanı sıra, topografik özellikler ve yapının inşa edilecek olduğu arazinin büyüklüğü de plan şemalarının oluşumunu etkilemektedir. 2014 yılında inşa edilen Doğa Thermal & Spa, yerleşim gösterdiği arazinin diğer tesis arazilerine oranla küçük olması, eğimli bir topografyaya sahip olması, günümüzün teknolojik imkanları doğrultusunda yapılmış bir yapı olması dolayısıyla form ve plan şeması olarak diğer turizm komplekslerinden farklılaşmıştır. Yapının mimarı yapılan görüşmelerde, eğimli bir topografyada yer alan yapının elips biçimli formu ve plan şemasının, ova manzarasından olabildiğince yararlanmak kaygısıyla oluşturulduğunu belirtmiştir.

Plan şemalarının oluşmasını sağlayan mekânlar ise kendi aralarında gruplanarak bir düzen oluşturmaktadır. Yerleşimin biçimsel organizasyonu farklı işlevlere hizmet eden mekânların gruplandırma şeklini etkilemiş, plan şemaları, simetrik veya asimetrik düzende oluşmuştur. Simetrik olarak kurgulanan yapılarda ortak mekânların olduğu ana kütleyle konaklama mekânları bağlanmış, simetri ekseninde veya bu eksene yakın bir noktada ise kür parkı planlanmıştır (bkz. Şekil 10). Asimetrik olarak kurgulanan yapılarda ise kür parkı ve ortak mekânlar yakın konumlanmış, konaklama blokları ise bu ortak mekânlarla ilişki kuracak biçimde farklı düzenlerde kurgulanmıştır. Yapılan görüşmelerde mimarlar, simetriklik/asimetriklik durumunun arazinin biçimine bağlı olarak da değiştiğini belirtmişlerdir.



Şekil 10. Simetrik ve asimetrik mekân kurgusuna sahip termal turizm yapıları

Yapı Strüktürü: Bina/bina gruplarının yapı strüktür sistemine bakıldığında genel olarak betonarme sistem kullanılmıştır. Son yıllarda inşa edilmiş yapılarda ise formun ve strüktürel sistemin farklılaşarak yapılarda çelik strüktürün kullanıldığı görülmüştür. Yapılan görüşmelerde, teknolojik gelişmeler ile, yapım sistemlerinin ve yapı malzemelerinin çeşitlenmesi, tasarımcıyı kararlarında daha özgür bıraktığı bilgisine ulaşılmıştır. Tasarımcı iç mekânda değişik biçim ve etkide atrium, galeri gibi boşluklar kurgulamış, bu mekândaki geniş açıklıklar çelik yapı elemanı ile kolon sistemi kullanılmadan geçilebilmiştir (bkz. Şekil 11). 1980 – 2000 arası yapılan termal tesislerin ise genel olarak betonarme sistem kullandığı, çelik vb. sistemlerin yapılarda nadir şekilde uygulandığı görülmektedir.



Şekil 11. Doğa Thermal Health & Spa, iç mekândan strüktürün görünüşü (Kişisel arşiv, 2017)

Mekânın Fiziksel Özellikleri: Mekânın renk, ışık, doku ve malzeme gibi fiziksel özelliklerinin teknolojik faktörler ve doğal/yapay çevre özellikleri ile ilişkili olarak tasarımcının aldığı kararlar doğrultusunda oluşturulduğu yapılan görüşmelerle tespit edilmiştir. Tasarımcı mekândaki işlev ve mekâna ait özellikleri göz önünde bulundurarak kullanıcı üzerinde oluşturulmak istenen etkiye bağlı olarak renk ve malzeme seçimi yapmıştır. Termal suyun değmiş olduğu yüzeylerde bıraktığı turuncu-sarı rengin mekândaki detaylarda ve yapı cephelerinde sıklıkla tekrarlandığı görülmüştür. Aynı zamanda bazı termal tesislerde termal sudan kaynaklanan sıcaklık hissini mekânda soğuk renklerle kullanılarak dengelenmeye çalışıldığı görüşmelerle ve yerinde yapılan gözlemlerle tespit edilmiştir (bkz. Şekil 12).



Şekil 12. Kür parklarında renk ve ışık kullanımı (Kişisel arşiv, 2017)

Malzeme kullanımında ise genel olarak pürüzlü dokuya sahip ahşap ve tekstil/halı kullanımı görülmektedir. Yer yer sıcak etkiyi dengelemek için bazı detaylarda soğuk renklerle mermer, seramik, granit vb. malzemeler kullanılmıştır. İç mekânda renk ve malzemenin yanı sıra yapay aydınlatma kullanımı ile uygun veya kontrast bir etki sağlanmaya çalışılmıştır. Termal turizm yapılarında iç mekânlardaki aydınlatma kullanımında ise genel olarak sarı renkte yapay aydınlatma tercih edilmiş, loş bir etki sağlanmak istenmiştir. Ancak bazı mimarlar, almış olduğu tasarım kararlarında termal turizm tesislerinin termal sıcak su hizmeti veriyor olması dolayısıyla insanların üzerinde bırakmış olduğu sıcaklık hissini nötr hale getirmek amacıyla soğuk etki veren ışık kullanımını tercih ettiği görüşmeler ve yerinden gözlemler ile tespit edilmiştir.

5.2.2. Cephe Özellikleri

Karahayıt termal turizm yapılarının cephe özellikleri incelendiğinde yapay/doğal çevre özellikleri ile toplumsal, yasal ve teknolojik faktörlerin en çok cephe düzenini etkilediği görülmüştür.

Cephe Düzeni: Karahayıt termal turizm yapılarının cephe özelliklerini en belirgin biçimde yansıtan bina/bina grupları konaklama blokları olmuş ve bu binalara ait cephe düzeni şematik çizimler ile ifade edilmiştir (bkz. Şekil 13).



Şekil 13. Karahayıt termal turizm yapılarına ait şematik cephe düzeni

İklim özellikleri cephe düzenini en çok etkileyen unsurların başında gelmektedir. İklim, cephelerdeki pencere kapı boyutlarının belirlenmesinde en etkili unsurlardan biri olmuştur. Teknolojinin gelişmesi ve yapı malzemelerinin çeşitlenmesi ile yapılarda geniş açıklıklı boşluklar kurgulanmaya başlanmıştır. Görüşmelerden elde edilen bilgilere göre manzara faktörü de cephe düzenini etkileyen diğer bir etmendir. Oteller incelendiğinde daha iyi manzara alan mekânlarda ortak mekânların kurgulandığı ve bu mekânların geniş açıklığa sahip cephe boşlukları olduğu yerinde gözlemler ile tespit edilmiştir. Aynı zamanda güneşlenme yönü de yine mekân kurgusu ile birlikte cephe düzenini etkilemiş, mekânın güneş alma ihtiyacına bağlı olarak cephedeki boşluklar şekillenmiştir. Yine yapılan görüşmelerde mimarlar planlama kararlarının kat yüksekliğine getirmiş olduğu sınırlama dolayısıyla mekân kurgusunun yatayda gelişmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Mekân kurgusunun yatayda gelişmesi ise cephedeki doluluk boşluk oranını da etkileyerek boşlukların yataydaki sürekliliğini sağlamıştır.

Çalışmada incelenen otellerin genelinde cephede çıkmalar mevcuttur. Bu çıkmalar genel olarak açık çıkma olup, yatma mekânından açılan balkon işlevi ile kullanılmaktadır. Bölgedeki iklim koşulları, manzara yönü ve güneşlenme yönü bu çıkmaların yapı içindeki konumlanmalarını ve biçimini etkilemiştir. Pencere boşlukları üzerinde, balkon korkuluklarında süsleme elemanı kullanıldığı görülmektedir. Aynı zamanda yapıların cephelerinde üçgen alınlık biçimine sahip öğeler de kullanılmıştır. Bu biçim, yakın çevrede yer alan antik kentlerde kullanılan üçgen alınlık ile benzerlik göstermektedir. Yapılan görüşmelerde, kültürel kodlarda yer alan sütun, alınlık gibi öğelerin, yakın çevrede yer alan biçimlerin yapı tasarımı mekân içerisinde ve/veya cephede kullanılma içgüdüsünde olduğu bilgisi edinilmiştir (bkz. Şekil 14). Termal turizm yapılarının cephelerinde etkin bir gölgelendirme elemanı kullanımı ise görülmemiştir.



Şekil 14. Cephede süsleme elemanı kullanımı (Kişisel arşiv, 2017)

Çatı Biçimi: Çatı biçiminde ise planlama kararları ve iklim koşulları en etkili iki unsur olmuştur. Konaklama yapılarında genel olarak kırma çatı görülmektedir. Ancak günümüze yakın inşa edilen tesislerde tasarımcının kararı ve teknolojinin getirdiği yeniliklerle özgün biçimler üretilerek çatı biçiminde farklı uygulamalar yapıldığı bilgisi görüşmeler ve yerinde gözlemler ile tespit edilmiştir. Çatı örtüsünde ise genel olarak kiremit kullanılmıştır.

Cephenin Fiziksel Özellikleri: Birbiri ile ilişkili olan ve birbirini tamamlayan renk, malzeme-doku, ışık öğeleri yapının kimliğini belirlemede etkili olan unsurlardandır. Yapıya uygulanacak renk ve malzeme seçimi tasarımcı tarafından yapay çevre özellikleri, teknolojik gelişmeler, toplum alışkanlıkları ve yasal faktörlerin değerlendirilmesi sonucunda seçilmiş ve uygulanmıştır. Bazı durumlarda bu seçim tasarımcı haricinde yapı üzerinde söz hakkına sahip kişilerce de yapılabilmektedir. Kişiler bu seçimi yaparken en çok kültürel özelliklerden, bugüne kadar alışlagelmiş veya çevresinde görmüş olduğu biçimlere ait özelliklerden etkilenmiştir.

Kırmızı suyun temas ettiği yüzeylerde bırakmış olduğu turuncu-sarı-yeşil toprak tonları, yapıların cephelerindeki renkler ile büyük oranda benzerlik göstermektedir. Yapılan görüşmelerde tasarımcılar bu renkleri bilinçli olarak kullandıklarını ifade etmiştir (bkz. Şekil 15). Cephede malzeme olarak ise genel olarak sıva üstüne boya uygulaması yapılmış, tesislerde süreç içindeki yenilemelerle birlikte o günün koşullarında tercih edilen kompozit malzeme kullanımı da görülmüştür. Bina/bina gruplarının cephelerinde turuncu, sarı vb. renkler ile oluşturulan sıcak etki bazen kırmızı gibi sıcak etkiye sahip bir ışıkla desteklenirken, bazen de yapının soğuk etki uyandırması amacıyla mavi ışık kullanılarak kontrast oluşturulmuştur.



Şekil 15. Karahayit termal turizm yapılarının cephelerine ait görseller (Kişisel arşiv, 2017)

6. Tartışma

Bir bölgenin /yerleşimin / kentin kimliğinin oluşmasında en önemli unsurlardan biri bina ve bina gruplarının kimliğini ortaya koyan mimari kimliktir. Bu çalışmada; mimari kimlik unsurlarının önemine dikkat çekilmiş ve yakın geçmişte yapılaşmaya başlamış bir turizm alanının kimliğinin nasıl olduğu ortaya konarak bundan sonraki süreçte alandaki yapılaşmanın nasıl olabileceği konusunu da tartışmaya açmak açısından önemli bir araştırma problemine değinilmiştir.

Çalışmada incelenen termal tesisler, yerinde yapılan gözlemler ve derinlemesine görüşmelerden elde edilen bilgiler ışığında bütüncül bir şekilde yorumlanmıştır. Mimari kimliğe etki eden çevresel faktörler, toplumsal yapı, yasal faktörler, ekonomik ve teknolojik faktörlerin termal turizm yapılarında bina / bina gruplarının yerleşme biçiminde, mekân ve cephe özelliklerinin belirlenmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Tasarımcı, analiz etmiş olduğu tüm verileri değerlendirerek kendi tasarım kararları ile birlikte yapıyı tasarlamış, bina/bina gruplarının özelliklerinin belirlenmesinde etkin pay sahibi aktörlerden biri olmuştur. Tüm veriler değerlendirildiğinde mimari kimlik bileşenlerini etkileyen faktörler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1
Mimari Kimlik Bileşenlerini Etkileyen Faktörler

Mimari Kimliği Etkileyen Faktörler		Mimari Kimlik Bileşenler
Çevresel Faktörler	Topoğrafya	-Yerleşim Kompozisyonu
		-Yerleşim Dokusu
	İklim	- Plan Şeması
		-Yerleşim Kompozisyonu
		-Mekân Kurgusu
	Manzara	-Cephe Düzeni
-Çatı Biçimi		
-Yerleşim Dokusu		
-Yerleşimdeki Yapıların Yönelimi		
İnşa edilmiş/yapay çevre	-Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu	
	- Mekân Kurgusu	
	- Plan Şeması	
	-Cephe Düzeni	
	-Yerleşimdeki Yapıların Yönelimi	
	-Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu	
Güneşlenme Yönü	- Mekân Kurgusu	
	- Plan Şeması	
	- Mekânın Fiziksel Özellikleri	
	-Cephe Düzeni	
	-Cephenin Fiziksel Özellikleri	
	-Yerleşimdeki Yapıların Yönelimi	
Toplumsal Yapı	-Yerleşimin Biçimsel Organizasyonu	
	-Mekân Kurgusu	
	-Yapı Strüktürü	
	-Cephe Düzeni	
Yasal Faktörler	-Cephenin Fiziksel Özellikleri	
	-Yerleşim Kompozisyonu	
	-Plan Şemaları	
	-Cephe Düzeni	
Ekonomik ve Teknolojik Faktörler	-Çatı Biçimi	
	-Yapı Strüktürü	
	-Plan Şeması	
	-Mekânın Fiziksel Özellikleri	
Teknoloji Malzeme	-Cephe Düzeni	
	-Çatı Biçimi	
	-Cephenin Fiziksel Özellikleri	

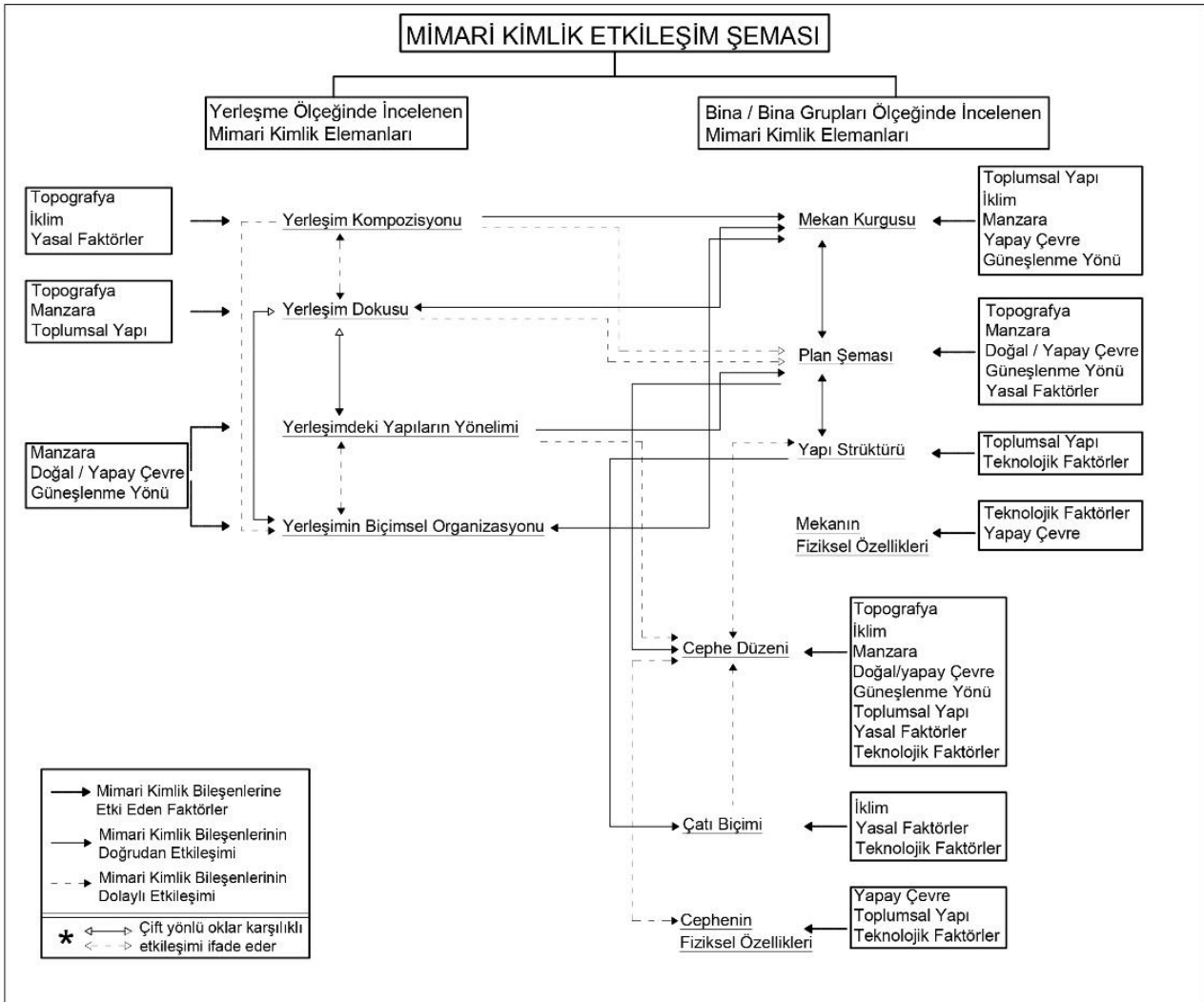
Elde edilen bulgulara göre çevresel faktörlerin mimari kimlik oluşumuna etkisi en çok yerleşim özelliklerinde görülmektedir. Çevresel faktörler aynı zamanda mekân ve cephe özelliklerini de etkilemiş, tüm bu bileşenler birbirleri ile ilişki içinde olmuştur. Toplumsal yapının kültürel özellikleri, yaşam biçimleri, alışkanlıkları, yapım teknikleri ve mimari geleneği ise yerleşim dokusunun, yapı strüktürünün, mekâna ve cepheye ilişkin özelliklerinin belirlenmesinde etkilidir. Planlama kararları ve yasal mevzuatların, yerleşim kompozisyonunu etkilemesinin yanı sıra, plan şemalarının, cephe düzeninin ve çatı biçiminin oluşmasında etkisi olmuş, kimliği oluşturmada en önemli unsurlardan biri olarak öne çıkmıştır. Teknolojik faktörler ise yerleşim ölçeğinden daha çok bina ölçeğindeki kararları etkilemiştir. Teknolojinin getirdiği yeniliklerle birlikte yapı strüktürü farklılaşmış, bu durum yapı formundaki yeniliklerle birlikte plan şemalarındaki değişimi beraberinde getirmiştir. Aynı zamanda yenilikçi malzemeler ve sistemlerle çatı biçimi değişmiş, mekâna ve cepheye ait özellikler klasik biçimlerden farklı olarak tasarlanmıştır. Mimar, yapmış olduğu çevre analizleriyle birlikte

termal turizm yapılarındaki psikolojik, kültürel ve fiziksel gereklilikleri belirleyip kendi tasarım kararlarıyla birlikte yapıyı tasarlamıştır.

7. Sonuç

Kentsel kimlik binaları etkilediği gibi, binalar da kent kimliğinin oluşumunu sağlamaktadır. Kentsel kimlik oluşumunda etkili olan mimari kimlik de yerleşimin planlama ve imar kararları, çevresel veriler, sosyo-kültürel özellikleri, mimarın tasarım yaklaşımlarından etkilenerek oluşmaktadır. Yapılan çalışmada çevresel, tarihsel, kültürel veriye sahip olan Pamukkale / Karahayıt bölgesinde inşa edilen konaklama yapılarının nasıl bir mimari kimlik oluşturabildikleri sorgulanmıştır. Bina / bina gruplarının yerleşim ölçeğinde bina ölçeğindeki analizleri ile tekil bina ölçeğinde mimari kimlik oluşumundan, tesis yerleşiminin kimliğinin oluşmasına kadar pek çok konuda fikir sunmaktadır.

Çalışma kapsamında oluşturulmuş olan ‘Mimari Kimlik Analiz Şeması’ ve elde edilen sonuçlarla doğrudan ve/veya dolaylı ilişki kurduğu düşünülen, mimari kimliği oluşturan ve etkileyen etmenler ‘Mimari Kimlik Etkileşim Şeması’ kapsamında değerlendirilmiştir (bkz. Şekil 16). Çalışmada mimari kimlik bileşenlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesinin yanı sıra bu bileşenlerin de kendi arasında doğrudan veya dolaylı olarak ilişkisi, yerel veriler, plan notları ve mimarın tasarım anlayışını dikkate alarak yerinde gözlem ve derinlemesine görüşmeler ile tespit edilerek oluşturulmuştur.



Şekil 16. Mimari kimlik etkileşim şeması

Elde edilen etkileşim şemasına göre yerleşim özelliklerinin genel olarak mekânsal kararlar ile ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yerleşim özellikleri çevresel toplumsal yapı ve yasal faktörler doğrultusunda şekillenmektedir. Yerleşim ölçeğinde verilen kararlar ile oluşturulan mekan kurgusu ise plan şemaları oluşumunu doğrudan etkilemiştir. Yapım sistemi ise bölgenin yapım gelenekleri ve teknolojik faktörler doğrultusunda şekillenmiştir. Yapı strüktürünün değişmesi ile farklılaşan yapı formlarında farklı tipte plan şemaları oluşmuştur. Konaklama yapılarının iç mekân özellikleri ise genel olarak mimarın tasarım kararı, iş verenin veya yapım sürecine dahil olan diğer kişilerin beğenileri doğrultusunda oluşmuştur. Her otel kendi içinde bir tasarım diline sahiptir. Çevresel, toplumsal, yasal ve teknolojik faktörlerin tümünden etkilenen mimari bileşen ise cephedir. Cephe düzeninin oluşumunu doğrudan veya dolaylı biçimde yerleşim ve mekân özellikleri de etkilemektedir. Bu bağlamda cephe, toplumun ve çevrenin sahip olduğu özellikleri en iyi biçimde yansıttığı için iç mekân ve dış mekân arasında etkili bir iletişim aracı olarak görülmektedir. Çatı biçimi ise iklim şartları, yasal ve teknolojik faktörler doğrultusunda oluşmaktadır. Teknolojinin gelişmesi, malzeme ve yapım sistemlerinin gelişmesi ile çatı formunda farklılaşmalar görülebilmektedir. Cephenin fiziksel özelliklerinin ise yapay çevre özellikleri, bölgenin mimari geleneği doğrultusunda oluşmuş, teknolojinin gelişmesi ile farklı özellikteki malzemeler ile cepheler üretildiği gözlemlenmiştir. Yapılan tespitler sonucunda en çok etkileşim içindeki bileşenlerin yerleşimin biçimsel organizasyonu, mekân kurgusu, plan şeması ve cephe düzeni olduğu görülmektedir.

Çalışma sonuçlarının uygulama alanına ve gelecekte yapılacak bilimsel çalışmalara katkısı olacağı durumunu gösteren hususlar;

- Bu çalışma, bölgede termal turizm konaklama yapılarının mimari kimliğinin incelenmesi bağlamında tek ve özgün olma özelliği taşıması,
- Bölgede kentsel ve mimari ölçekte yapılacak tasarım rehberleri oluşturulması çalışmalarına somut veriler sunması açısından kaynak olma niteliği göstermesi,
- Termal turizm konaklama yapıları genel konaklama yapılarının mekânsal kurgusu ve yerleşiminden birtakım farklılıklar göstermesi nedeniyle; yapılan çalışmadaki mimari kimlik analizinin diğer termal turizm potansiyeli olan bölgelerdeki mekân anlayışının, cephe tipolojisinin, termal turizm alanlarındaki dönüşümün, ya da yeni oluşturulacak alanların turizm tasarım ve planlama çalışmalarına katkı sağlaması,
- Bu çalışmanın devamında termal turizm yapılarının mimari tasarım ve biçimlenmesine yönelik bir kılavuzun hazırlanması,
- Bu yapılaşma biçiminin kalma süresi, kullanıcı profili, termal kaynağa olan mesafe, iklimsel koşullar gibi önemli unsurlarca da biçimlendiği verisiyle geleceğin termal turizm konaklama yapılarının tasarımı ve tasarım bilgisinin güncellenmesine fayda sağlaması,
- Termal turizm potansiyeli ile önem kazanmış bir bölgenin konaklama yapı stokunun mekânsal niteliğini ortaya koymak ve iyileştirme müdahaleleri için veri tabanı sunmasının sağlanması,
- Kentsel ve mimari kimlik alanında yapılan çalışmaların kuramsal çerçevesine ve pratiğine, çalışma kapsamında oluşturulan ve özgün olma niteliği taşıyan ‘Mimari Kimlik Analiz Şeması’ ve ‘Mimari Kimlik Etkileşim Şeması’ ile katkı verilmesi şeklinde sıralanabilir.

Çalışma, bölgedeki konaklama yapılarını farklı boyutlarıyla ele almış olup, yapıların güncel durumunu araştırmayı hedeflemiştir. Termal turizm yapılarının mimari biçimlenmesinde farklılaşmayı sağlayan unsurlar irdelenerek konu özelinde şemalar ortaya konmuştur. Çalışmanın sistematikteki tüm bu aşamalar ve süreçler, turizm mimarisi, termal turizm alanlarında yapılaşma kararları, planlama ve tasarım ilkeleri, mimari tasarımda kimlik kavramının çok boyutlu ele alınması gibi konu açılımlarında önem arz etmekte olup gelecekteki turizm, mimari ve tasarım arakesitindeki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu makalenin yazım aşamasında herhangi bir kurum veya kuruluşun maddi destek alınmamıştır.

Yazar Katkıları

A.Begüm AKÖZ ÇEVİRİMLİ: Çalışmanın analizlerini planlamış ve gerçekleştirmiştir, veri toplamış ve makaleyi yazmıştır.

Şefika Gülin BEYHAN: Çalışmanın analizinin planlanmasına katkıda bulunmuş, çalışmanın genel kontrolünü sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Yazar Notu

Bu çalışma Ayten Begüm AKÖZ'ün 2018 yılı Ocak ayında tamamlamış olduğu 'Pamukkale/Karahayıt Bölgesindeki Termal Turizm Yapılarının Mimari Kimlik Analizi' başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir. Tezde yer alan bazı veriler ve bilgiler tekrar düzenlenerek veya geliştirilerek kullanılmıştır.

Kaynaklar

- Akbulut, G. (2010). Türkiye'de kaplıca turizmi ve sorunları. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 9(1), 35-54. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jss/issue/24260/257162>
- Akkaya, D. H. ve Usman, E. E. (2012). Temalı otel: Yok-mekanla var edilmeye çalışılan 'kurgu mekan'. *Tasarım + Kuram dergisi*, 7(11), 67-82. <https://tasarimkuram.com/tr/jvi.aspx?un=DTJ-49344>
- Anonim. (2020a). Genel Bilgiler, Tarihçe. Erişim Tarihi: 06.10.2020, <https://denizli.ktb.gov.tr/TR-211720/tarihce.html>
- Anonim. (2020b). İklim. Erişim Tarihi: 6.10.2020, <https://denizli.ktb.gov.tr/TR-211723/iklim-ozellikleri.html>
- Anonim. (2020c). Pamukkale'nin kırmızı rakibi Karahayıt. Erişim Tarihi: 6.10.2020, <https://www.hurriyet.com.tr/pamukkale-nin-kirmizi-rakibi-karahayit-4015314>
- Anonim. (2020d). Doğa Thermal Health & Spa. Erişim Tarihi: 06.10.2020, <https://www.dogathermalhotel.com>
- Anonim. (2020e). Richmond Pamukkale Thermal. Erişim Tarihi: 06.10.2020, <https://www.richmondhotels.com.tr/richmond-pamukkale-termal-otel-denizli/>
- Anonim. (2020f). Erişim Tarihi: 06.10.2020, <http://www.tatilrotasi.com/otel-detay/spa-hotel-colossae-thermal/1292/>
- Anonim. (2020g). Erişim Tarihi: 06.10.2020, <https://www.etstur.com>
- Anonim. (2020h). Erişim Tarihi: 06.10.2020, <https://www.tatilsepeti.com>
- Ayyıldız, S. ve Ertürk, F. (2016). Kentsel kimlik bileşenleri ile yerel kimliğin izlerini sürmek: Kapanca Sokak örneği. *Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 2(1), 65-88. <https://doi.org/10.26835/my.271053>
- Başkan, A. E. (2009). Bir Denizli Seyahati. Denizli: Güney Ege Kalkınma Ajansı. http://geka.gov.tr/Dosyalar/o_1a47pjvdl65g1kdl1fmk1gkindr8.pdf
- Bennett, M., King, B. ve Milner, L. (2004). The health resort sector in Australia: A positioning study. *Journal of Vacation Marketing*, 10(2), 122-137. <https://doi.org/10.1177/135676670401000203>
- Bertan, S. (2010). Pamukkale destinasyonunda termal turizm faaliyetleri ve yöreyi ziyaret eden turistler üzerinde bir uygulama. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 4, 129-137. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iusosbil/issue/9497/118680>
- Beyhan, Ş. G. (2004). *Kültürel süreklilik ve çağdaş gereksinmeler bağlamında sürdürülebilir turizm ve kimlik kavramsal modeli: Pamukkale örneği*. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Beyhan, Ş. G. ve Ünügür, S. M. (2006). Turizm yapılarında kimlik sorunu ve Belek-Kemer örnekleme çalışması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 262-273. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sdufenbed/issue/20780/221867>
- Broadbent, G. (1973). *Design in architecture: Architecture and the human sciences*. New York. USA: John Wiley & Sons.
- Castells, M. (2006). *Enformasyon çağı: Ekonomi, toplum ve kültür: 2.cilt Kimliğin gücü*: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Correa, C. (1983). *Quest for Identity, Architecture and Identity*. The Aga Khan Award for Architecture, Singapore.

- Çöl, Ş. (1998). *Kentlerimizde Kimlik Sorunu ve Günümüz Kentlerinin Kimlik Derecesini Ölçmek İçin Bir Yöntem Denemesi*. (Doktora Tezi), Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğaner, S. (1996). Anadolu'nun coğrafi mirası Pamukkale. *Türk Coğrafya Dergisi*, 31, 7-38. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21256/228112>
- Erhan Ş., E. (2010). *Türkiye'de termal turizmin gelişimi, termal turizm tesislerinin tasarım kriterleri (Afyonkarahisar ili örneği üzerinden incelenmesi)*. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erman, O. ve Yılmaz, N. (2017). Mimari tasarımda konsept ve bağlam ilişkisi üzerine. *Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, 10, 96-115. <https://doi.org/10.17365/TMD.2017.1.012.x>
- Gündüz, O. (2005). *Kentlerimizin kimlik sorunu ve İzmir örneği*. I.Uluslararası Mimar Sinan Sempozyumu: Mimar Sinan ve tarihsel kimlik, Edirne.
- Güvenç, C. (2007). *Türkiye'deki termal turizm tesislerinin planlama ve tasarım ilkelerine ilişkin bir model önerisi (Çanakkale örneği)*. (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hacıhasanoğlu, O. (1996). *Kimlik Sorunu, Mimarlığın Evrensel ve Yerel Boyutları*. Uluslararası Yapı ve Yaşam Kongre Kitabı, Bursa.
- Kancıoğlu, M. (2006). İmaj, kimlik ve anlam oluşturma biçimlerinin turizm binaları üzerinde incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11(1), 33-43. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/uumfd/issue/21684/233391>
- Kişisel Arşiv, 2017. A.Begüm Aköz Çevrimli fotoğraf arşivi.
- Kodal, G. ve Demirel, Ö. (2014). Trabzon Kenti Ortahisar Bölgesi Tarihi Aksının Kent Kimlik Bileşenleri Açısından Değerlendirilmesi. *Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, 1(1), 1-23. <https://doi.org/10.17365/TMD.2014019178>
- Lefebvre, H. (1991). *The production of space* (D. Nicholson-Smith, Trans.): Oxford: Blackwell.
- Ocakçı, M. ve Türk, A., Yelda. (2012). Kentsel kimlik. M. Ersoy (Ed.), *Kentsel Planlama Ansiklopedik Sözlük*. İstanbul.
- Önez, Z. (2008). Özel Çevre Koruma Bölgeleri Yönetim Sorunları Kapsamında: Pamukkale Özel Çevre Koruma Bölgesi. *Akademik İncelemeler*, 3(1), 55-73. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akademikincelemeler/issue/1555/19085>
- Özdemir, C. (2001). Kimlik ve söylem. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(2), 107-122. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ogusbd/issue/10979/131424>
- Pena, O. (1987). *Mission Resort Health Spa, San Antonio, Texas*. (PHD Thesis), Architecture Faculty, Texas Tech University, ABD.
- Polat, S. (2011). *Kamusal dış mekanlarda mimari kimliği değerlendirmek için bir yöntem önerisi: Bursa-Cumhuriyet alanı örneği*. (Doktora Tezi), Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Proshansky, H. M., Fabian, A. K. ve Kaminoff, R. (1983). Place-identity: Physical world socialization of the self. *Journal of Environmental Psychology*, 3, 57-83. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(83\)80021-8](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(83)80021-8)
- Rapoport, A. (2004). *Kültür Mimarlık Tasarım* (S. Batur, Trans.). İstanbul: YEM Yayın.
- Şenkaya F., B., Demirel, Ö. ve Özkır, D. (2012). Ayder (Çamlıhemşin-Rize/Türkiye) termal ve yayla turizm bölgesinin termal koruma ve turizm gelişimi açısından değerlendirilmesi. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 2(5), 151-164. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijad/issue/32465/360996>
- Topçu, K. (2011). Kent kimliği üzerine bir araştırma: Konya örneği. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1048-1072. <https://www.j-humansciences.com/ojs/index.php/IJHS/article/view/2000>
- Turgut, H., Özalp Yavuz, A. ve Erdoğan, A. (2012). Artvin ilinde doğal çevrenin kent kimliğine etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 172-180. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjf/issue/20899/224424>



A Wet-Stock Management and Leak Detection System for Fuel Tanks

Ayşe Nur Dalman¹, M. Oluş Özbek^{2,*}

¹Department of Chemical Engineering, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Yeditepe University, Istanbul, Turkey

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, Turkey

Article History

Received: 12.02.2020

Accepted: 18.10.2020

Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – One of the critical problems in wet-stock management is inaccurate (poor) tank calibration that masks the leakages from the underground storage tanks (USTs). Moreover, obtaining the correct tank parameters or re-calibration is an expensive procedure if not impossible. This study aims to prevent the masking effect of several tank parameters on the tank calibration chart and to improve the leak detection and wet-stock management for fuel storage tanks. This goal is achieved through obtaining the mathematical models for simple cylindrical tank that convert the measured liquid height to accurate liquid volume by taking into account the tank deformations. The accounted deformations in tank parameters are errors in radius, length, probe offset and axial and radial tank tilts, as well as volume change with temperature. The simulations using the actual data gathered from a commercial fuel service station showed that the approach developed in this study is valid. The deformation included tank models successfully predicted the real fuel volumes. The results showed that the variance reduced from -300 L – +100 L range to -20 L – +20 L range for, which brings 67.2% improvement over the cumulative variance. This study also shows that obtaining the precise volume measurements by introducing models that account for the deformations in the UST is possible.


Keywords – Fuel station, fuel tank calibration, wet-stock management, UST, leak detection


1. Introduction

Fuel service stations store commercial grades of fuels in underground storage tanks (USTs) that should be prevented from leakage (ERC, 2016). Thus, station owners and operators have responsibilities for the safe management of these hazardous chemicals (Queensland, 2016).

An UST system consists of a storage tank and its piping, and should comply with the regulations (EPA, 2015, 2017; ERC, 2016; TORA, 2016). Otherwise releases from UST systems in the form of spill, overfill, leak through tank wall or associated piping can contaminate underground water (EPA, 2013) and/or can cause fires or explosions (AFC, 2010). In 2000, this kind of an explosion caused deaths of two people and injuries of three people in a fuel service station in Istanbul (TORA, 2016).

Leak detection is crucial for environmental safety, sustainability and economical running of the station (Shinn, 2001). It necessitates periodic monitoring of the tank and its piping (EPA, 2017). Several leak detection methods are commercially available, such as secondary containment with interstitial monitoring (EPA, 2005, 2015), automatic tank gauging (ATG) (EPA, 2005, 2015), vapour monitoring (including tracer compound analysis) (EPA, 2005, 2015), statistical inventory reconciliation (SIR) (EPA, 1995; Keating & Mason, 2000) and groundwater monitoring (EPA, 2005, 2015). Most of these leak detection methods require specialized equipment and techniques (Gorawski, Gorawska, & Pasterak, 2017). On the other hand, algorithmic solutions that

¹  dalmanaysenur@gmail.com

²  olus.ozbek@gtu.edu.tr

*Corresponding Author

does not require specialized equipment are also possible (Gorawski et al., 2017). The leak threshold for tank and pipe varies by techniques, whose number exceeds 390 (NWGLDE, 2020). Approval or acceptance of release detection systems rests within implementing agency, which in most cases is the state's environmental agency. In general, the leak threshold is given as 0.4 L/h for tanks (NWGLDE, 2020). In Turkey, "EN 13160-5 Leak detection systems – Part 5" (EN, 2016) norms and "TS 12820 Petrol filling stations – Safety requirements" (TSE, 2006) are accepted and fulfilled/implemented. In accordance these, the leak detection capability must be at least and below 0.4 L/h.

In 2006, Turkey began to deal with leak detection by announcing "TS 12820 Petrol filling stations – Safety requirements" (TSE, 2006) that covers safety requirements for petrol filling stations. However, enough data for statistical purposes has not been gathered since. Nonetheless, leak detection methods for fuel tanks have been discussed in the newest draft of this standard in 2016. The latest update on this subject by EMRA states that the inventory management and leak detection should be carried out on tank bases, rather than product bases (EPDK, 2019).

It is clear that leak detection goes hand in hand with the inventory control and wet-stock management (WSM) (EPA, 2013; Yorkshire, 2014). Since USTs are transient systems without any generation or consumption the mass balance reduces to Eq.1.1 under constant density assumption.

$$\frac{dV_{fuel}}{dt} = \dot{V}_{delivery} - \dot{V}_{sales} \quad (1.1)$$

In Eq. 1.1, V_{fuel} denotes the volume of the fuel in the tank, $\dot{V}_{delivery}$ denotes the volumetric rate of delivery, and \dot{V}_{sales} denotes that of dispensed volume from tank. In WSM, the problem arises when the Eq. 1.1 is not satisfied. Then, the missing (loss) or extra (gain) is attributed to the *variance* (*Var*) term (Eq. 1.2), which is the difference between the calculated amount of fuel in the tank, and the actual amount of fuel in the tank.

$$Var = V_{final} - (V_{initial} + V_{delivery} - V_{sales}) \quad (1.2)$$

For a better understanding, variance should be investigated under two headings, i) real variance, and, ii) apparent variance. The real variance shows the real losses (VR, 2016) caused by volume change because of temperature, evaporation, leaks, etc. On the other hand, wrong tank calibration or measurement errors cause an artificial volume difference, which is attributed to the apparent variance (APEA, 2009; VR, 2013, 2015, 2016).

Errors in liquid height to liquid volume conversions are a major cause for apparent fuel variance. Furthermore, the mismatch in the fuel volume measurements is an important factor that hides the leaks and/or causes false alarms. The fuel volume is estimated by measuring the liquid height using a probe (VR, 2009, 2015). The level signal is then processed by the tank level sensor (TLS) unit, which converts the height signal to liquid volume according to tank calibration chart. The main causes for the wrong conversions are i) inaccurately reported tank dimensions, ii) tank deformations, iii) tank or the probe inclinations.

It should be noted that measurement of tank dimensions, which is already underground, is not feasible nor possible (Caihong Li, 2013). Since common calibration techniques (ASIS, 2017; Jin Tao Wang, 2013; Khaisongkram & Banjerdpongchai, 2004; Knyva & Knyva, 2012; Mensura, 2013) are not preferable, recalibration is generally carried out using some sort of an estimation technique that uses a mathematical model (Caihong Li, 2013; Chen, 2012; Y. Li, 2014; Nosach, 2000; Xie, Wang, Cui, & Chen, 2012). These techniques parameterize the tank geometry (Caihong Li, 2013; Y. Li, 2014; Nosach, 2000; Xie et al., 2012), probe position (Nosach, 2000), and inclination of the tank (Caihong Li, 2013; Chen, 2012; Y. Li, 2014; Nosach, 2000; Xie et al., 2012) to differentiate between the ideal volume and the calibrated volume of the underground storage tanks. Most of these works focus only on the axial and/or radial tilts of the tanks and correcting the height to

volume charts without considering the fuel variance and/or the leak detection. On the other hand, a few of the studies focus on the wet-stock management and variance (leak) control, without considering the corrections for the tank calibrations. However, a study that takes in account all the deformation parameters that cause the variance term, nor a study that combines the parameter based volume correction and the variance control is not available in the open literature.

Thus, this study builds a geometrical model based algorithm that can be used for wet-stock management and leak detection for the fuel stations that use USTs. The core of the study is the model based approach that takes in account all the tank deformation parameters (axial tilt, radial tilt, temperature effect) and corrects the calibration charts without the necessity of specialized equipment. By estimating the correct fuel volumes tracking the variance, and therefore the leaks, become possible.

2. Methodology

We considered a fuel storage tank whose shape is simple cylinder without dished heads. Under ideal conditions, as Figure 1.a shows, the simple cylinder tank (SCT) lies perfectly horizontal on the ground and the probe is placed perpendicular in the central axis. At this point, the liquid volume can be expressed as a function of tank radius (R), tank length (L) and instant fuel height (h) as follows.

$$V(h)=L\left[\sqrt{2Rh-h^2}(h-R) + R^2\cos^{-1}\left(1-\frac{h}{R}\right)\right] \tag{2.1}$$

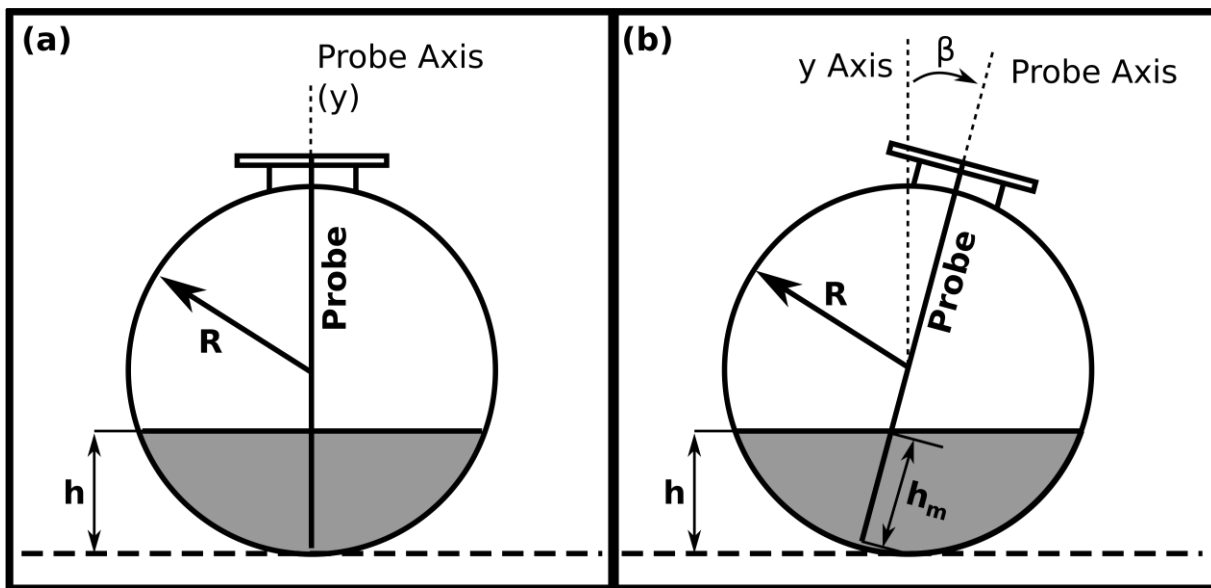


Figure 1. The side view of SCT (a) without and (b) with radial tilt. The parameters are: R: Tank radius, h: Instant fuel height, h_m : Measured fuel height, β : Radial tilt angle.

Under non-ideal conditions, the tank can be tilted axially (i.e. α), radially (i.e. β), or both. Using trigonometric relations to calculate the wet probe height and following a similar procedure as in (Caihong Li, 2013; Xie et al., 2012) corrected relations can be obtained. When the tank or the probe tilt along the radial axis with β degrees (Figure 1.b), the correct fuel volume can be calculated by correcting the measured height (h_m).

$$h = \frac{h_m}{\sec \beta} + 2R \sin^2 \beta \tag{2.2}$$

In the case of a tilt in tank’s axial direction (α), non-measurable liquid volumes, when the fuel level lye below the probe (Figure 2.a and Figure 2.b), should be taken into account as well. Here again, using the trigonometric

relations and a similar procedure as in in (Caihong Li, 2013; Xie et al., 2012) it is possible to find the correct level. Depending on the tilt direction non-measurable fuel level can be expressed as $h_0 = M \tan \alpha$, or $h_0 = (L-M) \tan(-\alpha)$. Non-measurable fuel volume of SCT with positive and negative axial tilt can be calculated by Eq.2.3 and Eq.2.4, respectively.

$$V_0 = \frac{M \left[\sqrt{2Rh_0 - h_0^2} (h_0 - R) + R^2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{h_0}{R} \right) \right]}{2} \tag{2.3}$$

$$V_0 = \frac{(L-M) \left[\sqrt{2Rh_0 - h_0^2} (h_0 - R) + R^2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{h_0}{R} \right) \right]}{2} \tag{2.4}$$

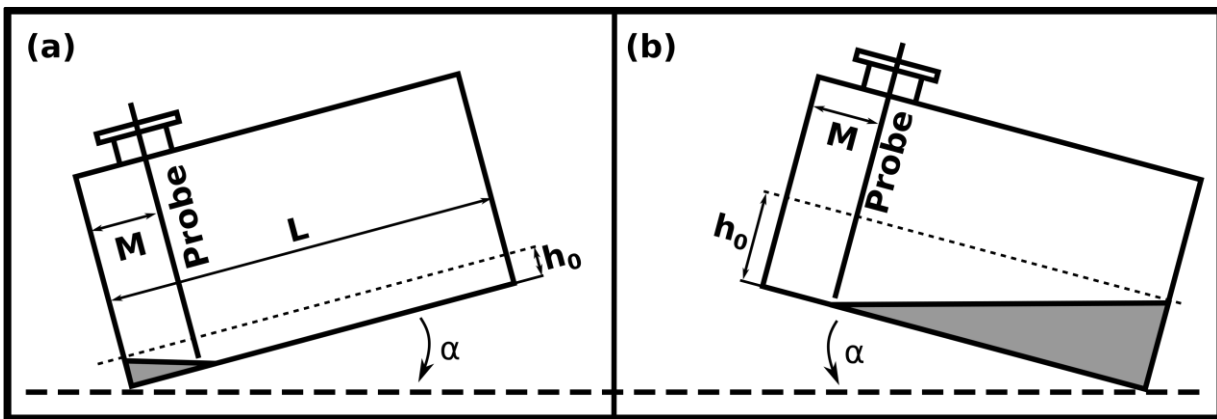


Figure 2. Nonmeasurable volume of SCT with (a) positive and (b) negative axial tilt. The parameters are, h_0 : Nonmeasurable fuel level in the tank, M : Probe point, L : Tank length, and α : Axial tilt angle.

At this point, to be able to express the correct liquid volume another parameter should be introduced. We define *critical height* (h_c) that the increasing fuel level wets both of the tank sides (Figure 3). Depending on the tilt direction critical height can be expressed as $h_c = (L-M) \tan \alpha$, or $h_c = M \tan(-\alpha)$ similar to (Xie et al., 2012). Whether the liquid level is below or above the h_c , the total liquid volume can be expressed with different equations.

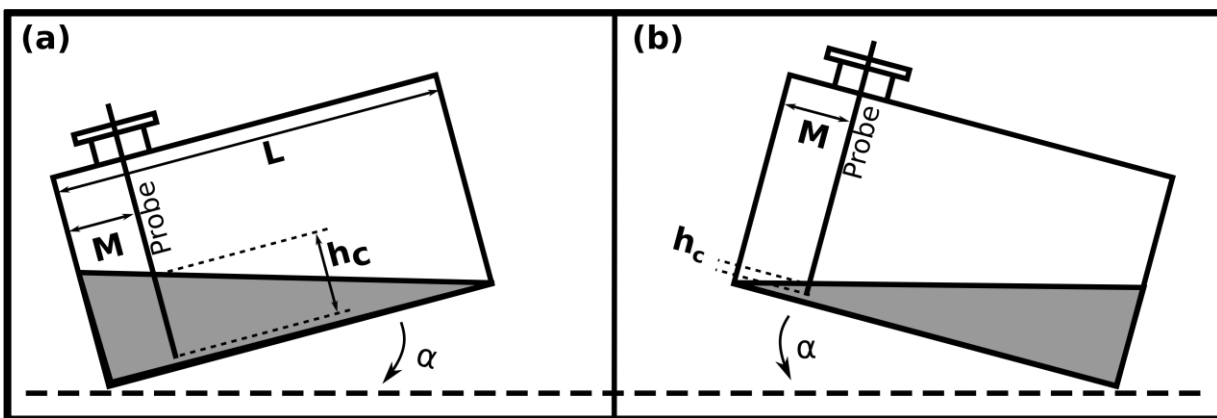


Figure 3. Critical height determination for SCT with (a) positive, and (b) negative axial tilt. The parameters are, h_c : Critical height, M : Probe point, L : Tank length, α : Axial tilt angle

Depending on the h_α being under or above the h_c and the tilt angle, the liquid volume can be calculated with one of the following equations.

After obtaining theoretical SCT volume formulas, the following procedure was performed to reduce the variance. Variance can be calculated by Eq.1.2, and a volume correction term ($V_{correction}$) is added to this formula.

For $\alpha > 0$ and $h_\alpha > h_c$

$$V_{total} = \frac{V(h_\alpha - (L-M) \tan \alpha) + V(h_\alpha + M \tan \alpha)}{2} \quad (2.5)$$

For $\alpha < 0$ and $h_\alpha > h_c$

$$V_{total} = \frac{V(h_\alpha + (L-M) \tan (-\alpha)) + V(h_\alpha - M \tan (-\alpha))}{2} \quad (2.6)$$

For $\alpha > 0$ and $h_\alpha < h_c$

$$V_{total} = \frac{(h_\alpha \cot \alpha + M)}{2L} \times V(h_\alpha + M \tan \alpha) \quad (2.7)$$

For $\alpha < 0$ and $h_\alpha < h_c$

$$V_{total} = \frac{\left[1 - \frac{M \tan(-\alpha) - h_\alpha}{L \tan(-\alpha)} \right] \times V(h_\alpha + (L-M) \tan (-\alpha))}{2} \quad (2.8)$$

The assumptions used in the calculations are i) The tank probe measures correctly the fuel heights and temperatures (i.e. probe itself is not the source of mismeasurement), ii) The sales data is exact and the pumpmat measures correctly each sales transactions, and iii) In cases of any operations, correction volume amounts are taken by site owner/operator.

There are two types of delivery (i.e. refilling of the tank) data, which are ATG delivery (measured by tank gauge) and invoiced delivery (measured by terminal gauge with respect to reference temperature, $T_{ref}=15^\circ\text{C}$). In order to eliminate the measurement errors, variance is calculated with respect to the invoiced delivery data in this study.

The measured liquid level is converted to volume according to the tank calibration chart under the first assumption. However, level to volume (LV) conversion may be incorrect due to inaccurate (or poor) tank calibration chart. In this case, incoming delivery (invoiced), sales and correction volume data are independent from ATG probe and tank calibration chart. In line with this information, variance formula was revised and incoming data, which was independent from ATG probe and tank calibration chart, is defined as 'actual volume change' in the below form.

$$Variance = \Delta V_{theo} + \Delta V_{actual} = (V_{final} - V_{initial}) + (V_{sales} + V_{correction} - V_{invoiced}) \quad (2.9)$$

The real time data includes each transaction and frequent readings of inventory level and temperature. This data was used to calculate the accurate volume by using the derived theoretical volume equations. According

to the aforementioned assumptions, actual volume changes are accurate and were used in the variance determination. However, due to inaccurate level to volume conversion, temperature compensation was included to improve the readings as well. Temperature effect on the fuel volume is calculated using initial temperature (T_i), final temperature (T_f) and thermal expansion coefficient (α_{fuel}). In this calculation, thermal expansion coefficients of diesel and gasoline are taken as 0.000792 ($1/^\circ\text{C}$) and 0.001251 ($1/^\circ\text{C}$), respectively (R.W., 1991)

$$dV_{theo} = V_{final} - V_{initial} + [\alpha_{fuel} \times (T_i - T_f)] \quad (2.10)$$

A MATLAB script was developed to process the available data using the Equations 2.1-2.10. The results are presented below.

3. Results and Discussions

In this section, first, we demonstrate the effects of parameters on a horizontal SCT through our models. In addition to theoretical models, real time data of a tank from a commercial fuel service station is also available. Table 1 shows the tank dimensions as reported by the manufacturer and as used in our models. At this point it should be noted that the total volume of 30000 L is only possible with the dish head volumes, which do not exist in most of the commercial software, as well as in our model. For this reason, to be able to reach the maximum volume of 30000 L we have modified the tank parameters to fit the total volume. These modified dimensions are also given in Table 1.

Table 1

Manufacturer reported and modified tank dimensions

	Manufacturer reported tank dimensions	Modified tank dimensions
Total volume, V (L)	30000	30000
Radius, R (mm)	1240	1250
Length, L (mm)	6000	6115
Probe distance, M (mm)	700	700
Dished head depth, H (mm)	400	0

Initial tank calibration chart was established under ideal conditions ($\alpha = \beta = 0$). Liquid volume in the tank is calculated with the given tank sizes. Then the effects of six parameters (i.e. R, L, H, M, β , α) on liquid volume were examined and presented below with discussions.

3.1. Effect of Parameters on SCT Calibration Chart

Under non-ideal conditions the actual and the measured liquid volumes show differences. From this point on, this difference will be noted as ΔV , which can be caused by the error in tank parameters, as well as the tilted tank position. Eq.2.1 shows the relation between the SCT volume and the length or the radius. The effects of these parameters were investigated by introducing a $\pm 10\%$ change in relative parameters with 2% steps. Figure 4.a and Figure 4.b show ΔV with respect to difference in radius and length. As expected, larger mismatches in tank radius cause larger differences in measured and actual volumes. Moreover, ΔV is more pronounced in the regions in which the tank is more than half full. On the other hand, error in tank length brings a linear ΔV for all the measured liquid heights.

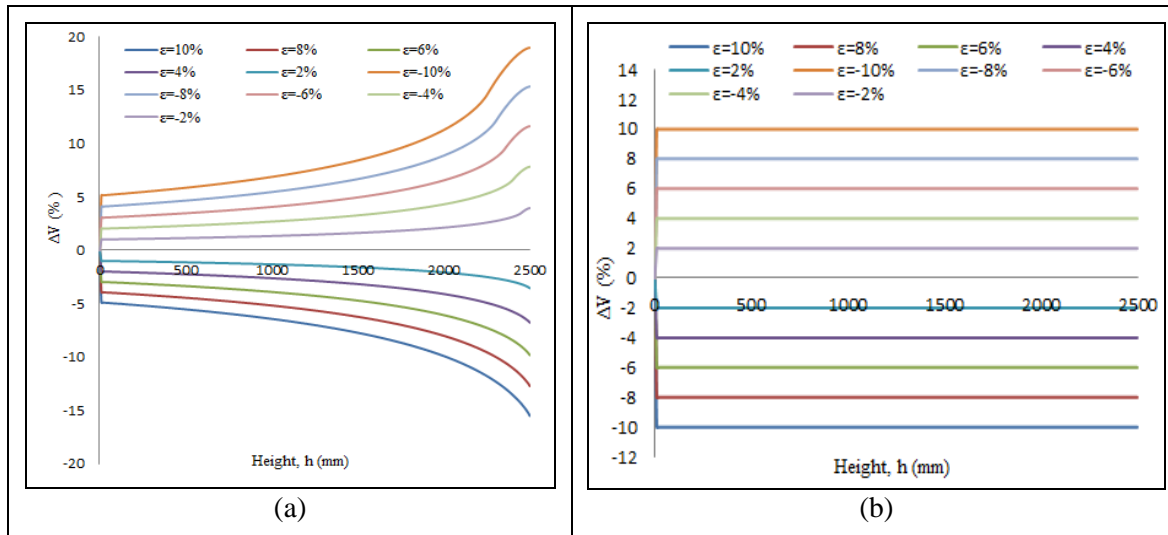


Figure 4. Percent volume change vs. height in the case of different percent error (ϵ) in (a) radius and (b) length.

Unless the tank is tilted axially, the probe offset (M) has no effect on the measured volume. Thus, this effect was investigated in the cases of axial tilts only. Figure 5.a shows that ΔV is greater for negative error in probe position at constant positive axial tilts, and vice versa. Figure 5.a shows that when M is decreased (i.e. $\epsilon\% < 0$), the ΔV increases for constant negative axial tilts, and vice versa. In conclusion, Figure 5.a and Figure 5.b clearly show that ΔV scale is much greater for the negative axial tilts. At this point it should be noted that, when the measured height approaches to zero level, the volume changes increase significantly because of the “division by zero” problem. Thus, in Figure 5.a and Figure 5.b, as well as the following figures, we limited the percent volume change at -100%. Similarly, Figure 6.a and Figure 6.b show the effects of radial tilts. In this case however, because of the symmetry, the effects of positive and negative directions are the same.

To observe the effect of the axial tilt, $\Delta\alpha$ in the range of $\pm 10^\circ$ with 2° steps were introduced. When the tank tilt in either $\pm\alpha$ direction, the tank calibration chart is affected differently. Figure 7.a shows that, ΔV is greater than one hundred percent at the lower level of SCT in the case of different positive axial tilt. We observe a sign change for the volume difference (i.e. variance) in the lower regions of the measured height for the positive axial tilts. Although in most of the cases this liquid region is too low to work, nonetheless, it may become confusing in extreme cases. Another reason of this is that, when positive axial tilts were introduced, calculated volume is much greater than originals’ for the lower levels. As it is seen in the Figure 7.b, as long as the height increases, smaller ΔV occurs for the introduced negative axial tilts. In sum, negative α brings negative ΔV , which means measured volume is always greater than actual volume. On the other hand, positive α brings positive ΔV excluding the lowest tank levels (i.e. $h < 50$ mm), which means measured volume is always smaller than actual volume.

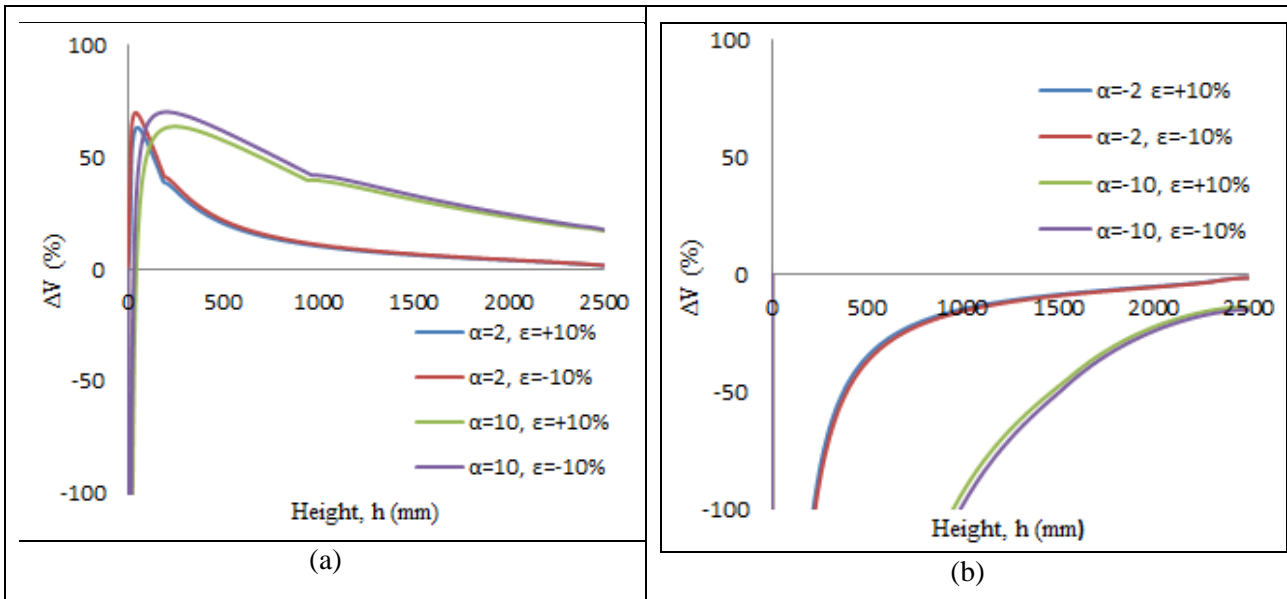


Figure 5. Percent volume change vs. height in the case of different (a) positive axial tilts and percent error (ϵ) in probe position and (b) negative axial tilts and percent error (ϵ) in probe position

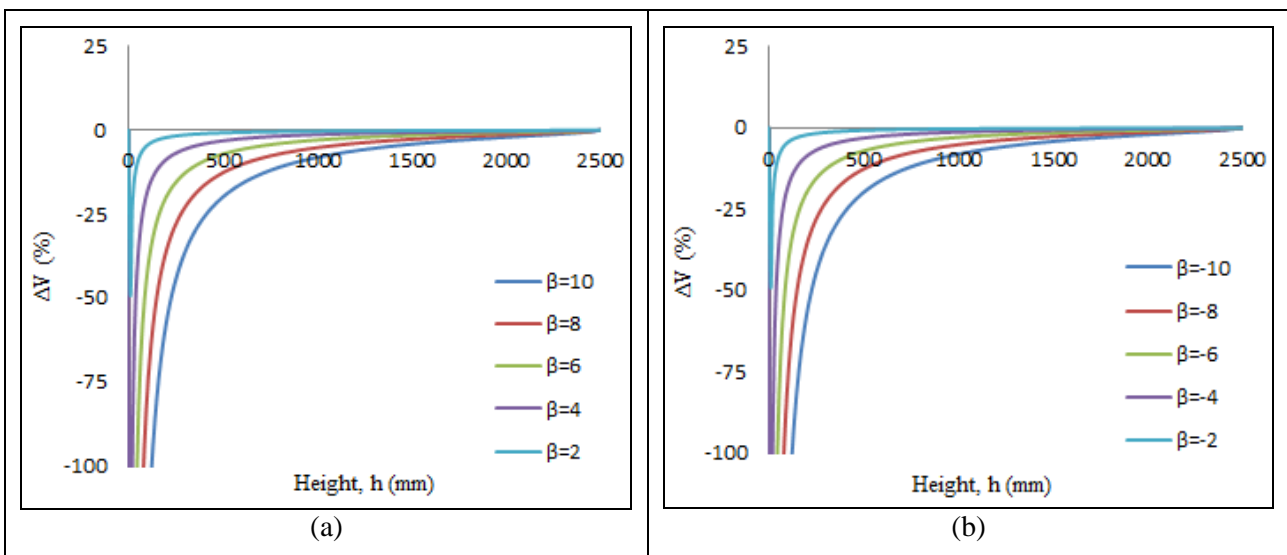


Figure 6. Percent volume change vs. height in the case of different (a) positive and (b) negative radial tilts

Next, we investigated the combination effect of two parameters on SCT volume. Firstly, the effect of axial tilt and radius were investigated by introducing positive/negative tilts and positive/negative error in radius. Figure 8.a shows that for constant positive axial tilts, ΔV is greater for negative error in radius, and vice versa. Besides, ΔV increases with increasing positive axial tilt. Figure 8.b shows that at constant percent error in radius, ΔV increases if negative axial tilt is increased, and vice versa. In conclusion, when Figure 8.a and Figure 8.b are compared, it is obviously seen that percent volume change scale is much greater for the negative axial tilts.

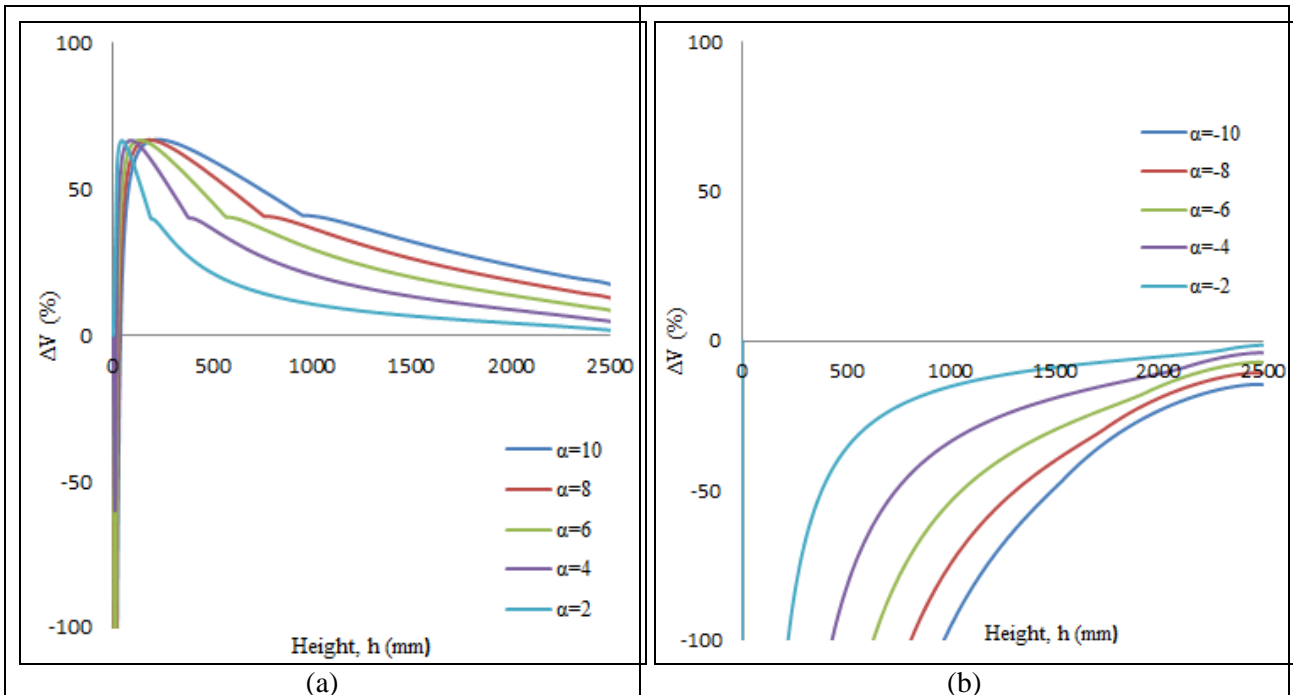


Figure 7. Percent volume change vs. height in the case of different (a) positive and (b) negative axial tilts

Figure 9 shows that radius increases (i.e. $\epsilon\% > 0$), ΔV also increases at constant radial tilts. ΔV increases with increasing error in radius and increasing radial tilt. As mentioned before, positive and negative radial tank tilts have the same effect owing to the symmetry. Therefore, while investigating of radial tilt and radius effects, only positive radial tilts were used.

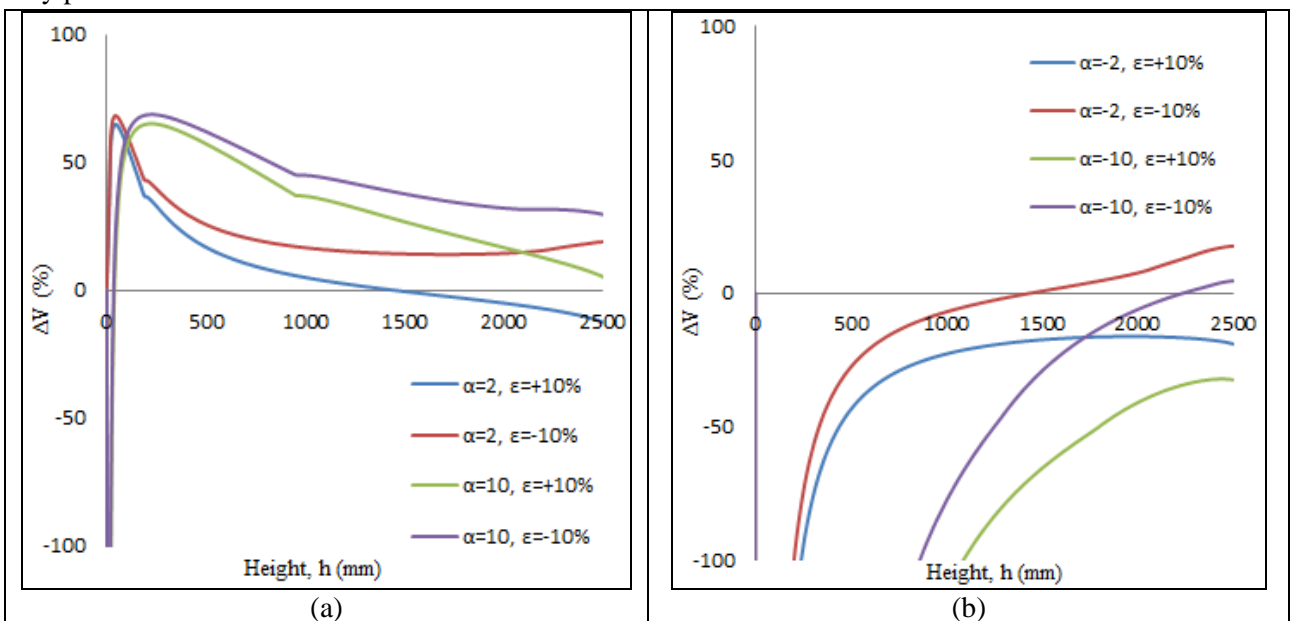


Figure 8. Percent volume change vs. height in the case of different (a) positive axial tilts and percent error (ϵ) in radius and (b) negative axial tilts and percent error (ϵ) in radius

Finally, we investigated the effect of temperature on diesel and gasoline volumes at the different measurement heights. During the tanker refills, invoiced delivery is obtained with respect to the fuel volume at 15°C. Thus, all volume calculations were performed according to this reference temperature of 15°C. Figure 10.a and Figure 10.b show ΔV for diesel and ΔV for gasoline are equal to zero at 15°C, as they should be. When the height of diesel or gasoline in SCT decreases, ΔV increases at constant temperature. Under the same conditions (i.e.

temperature and all the measured liquid heights of SCT), ΔV is greater for gasoline because thermal expansion coefficient ($\alpha_{gasoline} = 0.001251 (1/^\circ C)$, $\alpha_{diesel} = 0.000792 (1/^\circ C)$) of gasoline is greater.

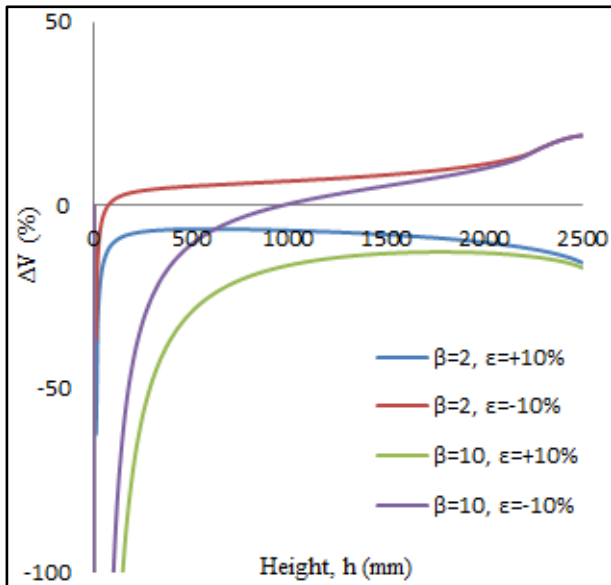


Figure 9. Percent volume change vs. height in the case of different radial tilts and percent error (ϵ) in radius.

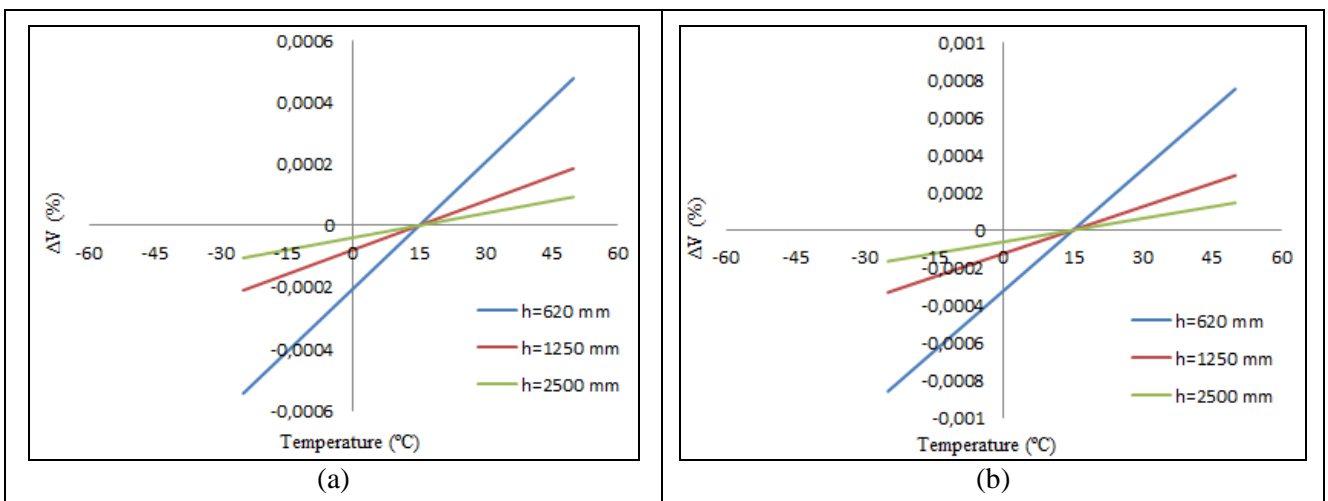


Figure 10. Percent volume change vs. temperature for (a) diesel and (b) gasoline volume at different height.

3.2. Variance Reduction/Adjustment

Upon observing the effect of parameters and non-idealities, we progressed to use this information to correct the errors in liquid volume (ΔV) by introducing (identifying) the deformation parameters. To begin with, tank calibration chart was established under ideal conditions using the data in Table 1. Then, the variance was calculated using this calibration chart and the gathered real time data.

Figure 11 shows the variance when the ideal calibration chart is used in combination with the real time data. Under ideal conditions, the expected variance is zero for all heights, which shows that the actual and the measured liquid volumes are equal to each other. However, as Figure 11 shows, a large variance is observed for the height values between 1000 mm and 2500 mm. This variance is in the range of +100 L to - 300 L. In Figure 11, different variance values can be seen for the same height value. The reason for this, as Eq.2.9 shows the variance shows a difference for the positive and negative volume changes, even if the final height is the same.

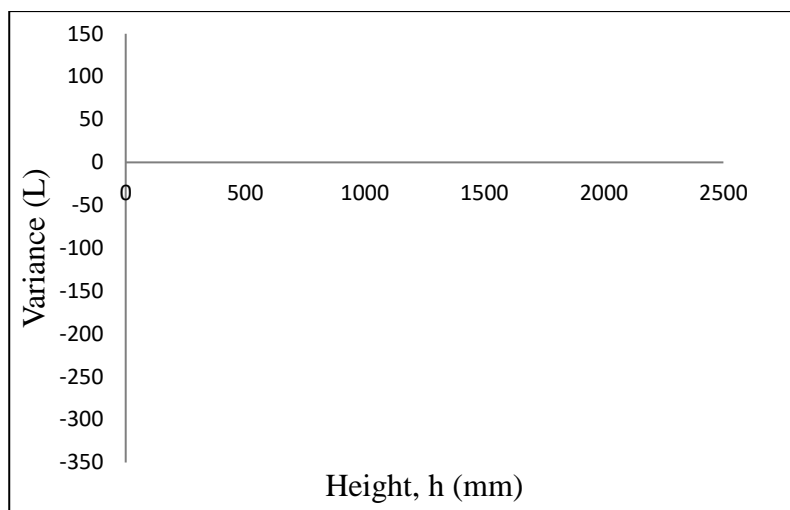


Figure 11. Current variance distribution of the selected tank.

In order to correct the volume differences and estimate the correct volume of the liquid, the real time data was split into two groups. The first group was used to determine deviations in the tank parameters and the second group was used to test the new parameters for the variance. Using simple trial and error procedure corrections of the tank parameters were obtained, such that the variance is minimized for the first group of data.

Table 2 compares the theoretical and corrected tank parameters. Our models predicted an axial tilt of $\alpha=-0.10^\circ$, and radial tilt of $\beta=0.10^\circ$, which are highly probable for an underground tank. Although the changes in the parameters (i.e. α and β) are relatively small, owing to the large tank dimensions and total volume, the deviations of the calculated liquid (fuel) volume make a large difference.

Table 2

Comparison of theoretical and corrected tank dimensions

Parameters	Theoretical tank dimensions	Corrected tank dimensions	Change (%)
R, mm	1250	1270	20 mm (1.60%)
L, mm	6115	6200	85 mm (1.39%)
M, mm	700	700	No change
H, mm	0	0	No change
Alpha, Degree	0	-0.10	-0.10°
Beta, Degree	0	0.10	0.10°
Capacity, L	30000	31332	1332 L (4.44%)

These corrected tank parameters were then used to obtain a corrected calibration chart. In addition, effect of temperature was also included into the new volume calculations. Using all the corrections second group of data was tested for the variance. Figure 12 shows the effect of the new parameters (i.e. corrections) on the variance, presented for all the data. It can clearly be seen that the model (i.e. corrected) variance approaches to an ideal case of zero. Thus, the inaccurate level to volume conversion was improved by variance minimization and a new accurate tank calibration chart was established. In addition, the masking effect of poor calibration chart was eliminated and the accuracy of level to volume conversion was increased.

In Figure 12, the sum of the absolute values of the actual variance is 7164 L. That of corrected model is 2347 L. The daily average of the corrected value for 126 days is 18.7 L/day which is well below the 288 L/day limit (EPDK, 2019). Furthermore, the hourly average of the corrected data is 0.77 L/h. Assuming the variance is caused by a leak, unfortunately this value exceeds the threshold value of ~ 0.4 L/h (NWGLDE, 2020).

Nonetheless, these results show that our approach brings a 67.2% improvement with respect to the ideal (i.e. zero variance) case.

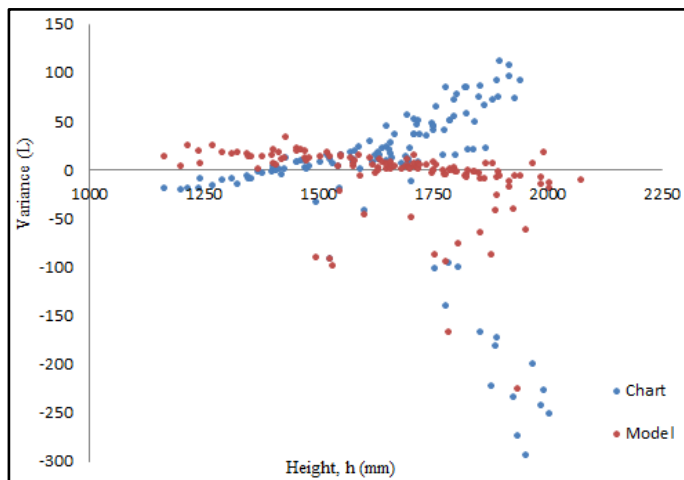


Figure 12. Variance comparison of current chart and model with all data groups for the selected tank

The similar previous studies either focus on correcting the calibration charts or wet-stock management and/or leak detection. Although the aims and the scopes of these studies are different from current study a few comparisons can be made. First, when the calibration correction is investigated our results are in line with the previous works where mathematical models are used (Chen, 2012; Khaisongkram & Banjerdpongchai, 2004; Y. Li, 2014; Nosach, 2000; Sigut, Alayón, & Hernández, 2014). Second, from the wet-stock management and leak detection point of view, the reduced variance (67.2%) appears to be a good improvement compared to similar works (Caihong Li, 2013; Gorawski et al., 2017; Z. Li, Shui, Luo, Chen, & Li, 2011; Sigut et al., 2014). At this point we would like to speculate on the resulting volume difference above the threshold value. It is possible that this result stems from the highly deformed tank from which the data is obtained. Whereas the previous studies worked with a volume difference of a few liters (Gorawski et al., 2017; Z. Li et al., 2011) that of current data is within the range of +100 L to – 300 L. Thus, we believe that in the case of a tank with a lower variance range, the method would produce acceptable results well below the threshold of 0.4 L/h.

4. Conclusions

This study aims to provide a way of variance minimization for underground storage tanks (USTs) to improve the wet stock management and leak detection. For this purpose, mathematical models that parameterize the deformations in the tank parameters were derived. The considered parameters were tank measurements (R, L, M), tank tilts in axial and radial axes as well as liquid temperature. To begin with sufficient information on the tank dimensions should be available along with the height to volume data, which is readily available. Using the models derived in this study, the variance that stems from inaccurate (poor) calibration charts or physical deformations (i.e. buckling) can be reduced significantly without the necessity of re-calibration using physical methods. Testing the developed method on an actual data reduced the variance by 67.2%, which shows the validity of the developed method.

Acknowledgement

This work did not receive any funding.

Author Contributions

Ayşe Nur Dalman: Graduated M.Sc. student. Collected data and performed the analysis. Performed statistical analysis and wrote the paper.

M. Oluş Özbek: Thesis supervisor. Conceived and designed the analysis. Performed statistical analysis and wrote the paper.

Conflicts of Interest

The authors declare that the current work is derived from the M.Sc. thesis of Ayşe Nur Dalman, which was supervised by M. Oluş Özbek and completed in 13 December 2017, under Chemical Engineering Department, Graduate School of Natural And Applied Sciences, Yeditepe University.

References

- Accessories For Chromatography (AFC). (2010). *Combustibles*. Retrieved from Gas Detection & Air Monitoring Specialists: <http://www.afcintl.com/pdfs/applications/combustibles.pdf>
- Advanced Practice Education Associates (APEA). (2009). *APEA Training Course – Wetstock Management*. Retrieved from England: <https://apea.org.uk/pages/training>
- Asis Otomasyon Akaryakit Sistemleri (ASIS). (2017). CalibeX 3D Laser Calibration. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=eIg7wENiQJA>
- Caihong Li, Y. Y., Lulu Song, Yunjian Tan, and Guochen Wang. (2013). Mathematical Model Based on BP Neural Network Algorithm for the Deflection Identification of Storage Tank and Calibration of Tank Capacity Chart. 13. <https://doi.org/10.1155/2013/923036>
- Chen, Z. Y. S. (2012). Deformation Identification and Tank Capacity Table Calibration of the Storage Tank *Applied Mechanics and Materials*, 184-185, 110-113. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.184-185.110>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2013). *Wetstock Reconciliation at Fuel Storage Facilities - An Operator's Guide*. Retrieved from: http://oldsite.apea.org.uk/download/Wetstock_Reconciliation_At_Fuel_Storage_Facilities.pdf
- European Committee for Standardization (EN). (2016). Leak detection systems - Part 5: Requirements and test/assessment methods for in-tank gauge systems and pressurised pipework systems. Retrieved from <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/eb73f5f1-eb15-44a2-91b7-603a1a33c464/en-13160-5-2016>
- Environmental Protection Agency (EPA). (1995). *Introduction to Statistical Inventory Reconciliation for Underground Storage Tanks*. Retrieved from US: <https://www.epa.gov/ust/introduction-statistical-inventory-reconciliation-underground-storage-tanks>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2005). *Straight Talk on Tanks, Leak Detection Methods for Petroleum Underground Storage Tanks and Piping*. Retrieved from US: <https://nepis.epa.gov>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2015). *Musts for USTs*. Retrieved from Washington: <https://www.epa.gov/ust/musts-usts>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2017). Learn About Underground Storage Tanks (USTs). In: EPA. <https://www.epa.gov/ust>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2017). *Release Detection and Inventory Control for Petroleum Storage Tanks*. Retrieved from: <https://www.epa.gov/ust/release-detection-underground-storage-tanks-usts>
- Enerji Piyasası Denetleme Kurumu (EPDK). (2019). *1240 Sayılı Kurul Kararında Değişiklik Yapılmasına Dair Kurul Kararı*. Retrieved from Ankara: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190521.pdf>
- ERC. (2016). *Design, Commissioning, Decommissioning and Recommissioning of Petroleum Retail Service Stations* Retrieved from <https://publishing.energyinst.org/topics/petroleum-product-storage-and-distribution/filling-stations>
- Gorawski, M., Gorawska, A., & Pasterak, K. (2017). The TUBE algorithm: Discovering trends in time series for the early detection of fuel leaks from underground storage tanks. *Expert Systems with Applications*, 90, 356-373. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.08.016>
- Jin Tao Wang, Z. Y. L., Lin Tong, Li Gong Guo, Xue Song Bao, Long Zhang. (2013). *Precise Measurement on Form of Horizontal Tank Used for Liquid Volume Metrology by Laser Method*. *Applied Mechanics and Materials*, (239-240). Trans Tech, Switzerland. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.239-240.152>

- Keating, J. P., & Mason, R. (2000). *Using statistical models to detect leaks in underground storage tanks* (Vol. 11). [https://doi.org/10.1002/1099-095X\(200007/08\)11:4%3C395::AID-ENV420%3E3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1099-095X(200007/08)11:4%3C395::AID-ENV420%3E3.0.CO;2-K)
- Khaisongkram, W., & Banjerdpongchai, D. (2004). *A combined geometric-volumetric calibration of inclined cylindrical underground storage tanks using the regularized least-squares method* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1109/CCA.2004.1387590>
- Knyva, V., & Knyva, M. (2012). New Method for Calibration of Horizontal Fuel Tanks. 2012, 18(9). Retrieved from <http://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/2816>
- Li, Y. (2014). Research on Horizontal Tank Position Identification and Capacity Indicator Calibration. *Applied Mechanics and Materials*, 443, 662-667. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.443.662
- Li, Z., Shui, A., Luo, K., Chen, J., & Li, M. (2011, 23-25 May 2011). *SIR-based oil tanks leak detection method*. Paper presented at the 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC). <https://doi.org/10.1109/CCDC.2011.5968519>
- Mensura. (2013). Mensura 3D Laser Scan Retrieved from <http://mensura.com.tr/3D.html>
- Nosach, V. V. (2000). Calculation of the Calibration Characteristics of Inclined Cylindrical Storage Tanks by a Geometric Method. *Measurement Techniques*, 43(10), 871-876. <https://doi.org/10.1023/A:1007603409659>
- National Work Group On Leak Detection Evaluations (NWGLDE). (2020). Statistical Inventory Reconciliation Test Method. Retrieved from http://www.nwglde.org/methods/sir_quantitative.html
- R. W., M. J. W. H. (1991). *Chemical Stored in USTs: Characteristics and Leak Detection*. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/30000HOC.TXT>
- Shinn, R. C. (2001). *A Guide to the Operation and Maintenance of Your Underground Storage Tank System* Retrieved from New Jersey: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-02/documents/om_final_2-17-16_508_0.pdf
- Sigut, M., Alayón, S., & Hernández, E. (2014). Applying pattern classification techniques to the early detection of fuel leaks in petrol stations. *Journal of Cleaner Production*, 80, 262-270. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.070>
- Tora Petrol Ürünleri Mühendisliği Elektrik ve Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş. (TORA). (2016). *TORA Training- Fuel Service Stations Technical Safety* Retrieved from <https://torapetrol.com/>
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE). (2006). *TS 12820 Petrol Filling Stations - Safety Requirements*. Retrieved from <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070520-12.htm>
- Veeder-Root Co. (VR). (2009). TLS Magnetostrictive Technology. In Veeder-Root (Ed.). <https://www.veeder.com/us/automatic-tank-gauging-products/leak-detection-and-monitoring-sensors/sump-monitoring-sensors/magnetostrictive-discriminating-dispenser-pan-containment-sump-sensor>
- Veeder-Root Co. (VR). (2013). *TLS Foundation Training for TLS Gauge Engineers*. Environmental Systems. Veeder-Root. <https://www.veeder.com/us/technical-support/tls-350-operator-tips>
- Veeder-Root Co. (VR). (2015). *Fuel Management Services (FMS) - SIR Environmental*. Retrieved from <https://www.gilbarco.com/la/en/products/services/fms>
- Veeder-Root Co. (VR). (2016). *Detecting and Reducing Loss in Your Fueling System*. Retrieved from <https://www.veeder.com/us/detecting-and-reducing-loss-your-fueling-system>
- Xie, W., Wang, X., Cui, H., & Chen, J. (2012). Optimization Model of Oil-Volume Marking with Tilted Oil Tank. *Open Journal of Optimization*, 1(2), 5. <http://dx.doi.org/10.4236/ojop.2012.12004>
- West Yorkshire Fire And Recue Service (Yorkshire), W. (2014). *Petrol Stations – Wetstock Control*. Retrieved from West Yorkshire: <https://www.westyorksfire.gov.uk/safety-leaflet/petrol-stations-wet-stock-control/petrol-stations-wet-stock-control-2/>
- Work Safe Queensland. (2016). *A Guide for Service Station Operators under the Work Health and Safety Act* Retrieved from https://www.worksafe.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0018/18315/guide-service-station-op.pdf

A Wet-Stock Management And Leak Detection System For Fuel Tanks


Ayşe Nur Dalman¹, M. Oluş Özbek^{2,*}


¹Department of Chemical Engineering, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Yeditepe University, Istanbul, Turkey

²Department of Chemical Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, Turkey

Supporting Information

Day	Initial Volume	Refill	Receipt	Correction	Sales	Final Volume	Difference (ATG)	Δ Vactual	Difference (Receipt)
11/1/2016	22176	0	0	0	1297	20788	-91	1297	-91
11/2/2016	20788	0	0	0	797	19993	2	797	2
11/3/2016	19993	0	0	0	972	19023	2	972	2
11/4/2016	19023	0	0	0	947	18068	-8	947	-8
11/5/2016	18068	0	0	0	1331	16722	-15	1331	-15
11/6/2016	16722	0	0	0	468	16245	-9	468	-9
11/7/2016	16245	5984	5989	0	1353	20888	12	-4636	7
11/8/2016	20888	0	0	0	1077	19822	10	1077	10
11/9/2016	19822	0	0	0	973	18853	4	973	4
11/10/2016	18853	0	0	0	911	17936	-6	911	-6
11/11/2016	17936	8397	8539	0	1472	24902	43	-7067	-100
11/12/2016	24902	0	0	0	782	24162	42	782	42
11/13/2016	24162	3364	3598	0	292	27241	7	-3306	-227
11/14/2016	27241	0	0	0	1010	26328	97	1010	97
11/15/2016	26328	0	0	0	1304	25110	86	1304	86
11/16/2016	25110	0	0	0	992	24162	45	992	45
11/17/2016	24162	0	0	0	1251	22948	37	1251	37
11/18/2016	22948	0	0	0	575	22384	11	575	11
11/19/2016	22384	0	0	0	830	21566	11	830	11
11/20/2016	21566	0	0	0	504	21066	4	504	4
11/21/2016	21066	0	0	0	1420	19654	8	1420	8
11/22/2016	19654	0	0	0	870	18782	-2	870	-2
11/23/2016	18782	6372	6478	0	973	24187	6	-5505	-101
11/24/2016	24187	4145	4487	0	1507	26967	142	-2980	-200
11/25/2016	26967	0	0	0	1056	26004	93	1056	93

¹  dalmanaysenur@gmail.com

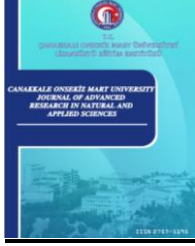
²  olus.ozbek@gtu.edu.tr

*Corresponding Author

11/26/2016	26004	0	0	0	943	25119	59	943	59
11/27/2016	25119	0	0	0	331	24805	16	331	16
11/28/2016	24805	0	0	0	1225	23627	47	1225	47
11/29/2016	23627	0	0	0	903	22746	21	903	21
11/30/2016	22746	4289	4491	0	1084	25971	21	-3407	-181
12/1/2016	25971	0	0	0	1526	24530	85	1526	85
12/2/2016	24530	0	0	0	1046	23473	-11	1046	-11
12/3/2016	23473	0	0	0	1085	22406	18	1085	18
12/4/2016	22406	5579	6001	0	729	27357	101	-5272	-321
12/5/2016	27357	0	0	0	1133	26332	108	1133	108
12/6/2016	26332	0	0	0	1276	25140	85	1276	85
12/7/2016	25140	0	0	0	1025	24161	46	1025	46
12/8/2016	24161	4160	4512	0	1270	27162	111	-3242	-242
12/9/2016	27162	0	0	0	737	26499	74	737	74
12/10/2016	26499	0	0	0	912	25653	67	912	67
12/11/2016	25653	0	0	0	349	25325	21	349	21
12/12/2016	25325	0	0	0	879	24487	41	879	41
12/13/2016	24487	0	0	0	985	23540	37	985	37
12/14/2016	23540	0	0	0	767	22789	17	767	17
12/15/2016	22789	0	0	0	1164	21645	20	1164	20
12/16/2016	21645	5760	6031	0	990	26453	37	-5041	-234
12/17/2016	26453	0	0	0	1011	25517	76	1011	76
12/18/2016	25517	0	0	0	363	25176	22	363	22
12/19/2016	25176	0	0	0	1118	24106	48	1118	48
12/20/2016	24106	0	0	0	718	23410	23	718	23
12/21/2016	23410	0	0	0	1106	22319	15	1106	15
12/22/2016	22319	0	0	0	1199	21102	-18	1199	-18
12/23/2016	21102	0	0	0	1016	20090	4	1016	4
12/24/2016	20090	0	0	0	945	19141	-4	945	-4
12/25/2016	19141	0	0	0	300	18842	1	300	1
12/26/2016	18842	0	0	0	1270	17558	-14	1270	-14
12/27/2016	17558	4026	4013	0	1230	20308	-46	-2783	-33
12/28/2016	20308	3009	3017	0	1346	21938	-33	-1671	-41
12/29/2016	21938	0	0	0	783	21171	16	783	16
12/30/2016	21171	0	0	0	1902	19282	13	1902	13
12/31/2016	19282	0	0	0	803	18477	-3	803	-3
1/1/2017	18477	0	0	0	159	18315	-2	159	-2
1/2/2017	18315	0	0	0	931	17375	-9	931	-9
1/3/2017	17375	0	0	0	1137	16219	-19	1137	-19
1/4/2017	16219	0	0	0	636	15563	-20	636	-20
1/5/2017	15563	9973	10068	0	928	24606	-2	-9140	-96

1/6/2017	24606	0	0	0	1110	23550	53	1110	53
1/7/2017	23550	0	0	0	196	23362	9	196	9
1/8/2017	23362	0	0	0	236	23133	7	236	7
1/9/2017	23133	0	0	0	469	22673	10	469	10
1/10/2017	22673	0	0	0	449	22234	9	449	9
1/11/2017	22234	0	0	0	683	21559	8	683	8
1/12/2017	21559	0	0	0	1113	20455	9	1113	9
1/13/2017	20455	6257	6562	0	940	25855	84	-5622	-222
1/14/2017	25855	0	0	0	1168	24760	72	1168	72
1/15/2017	24760	0	0	0	328	24446	15	328	15
1/16/2017	24446	0	0	0	925	23558	37	925	37
1/17/2017	23558	0	0	0	925	22658	24	925	24
1/18/2017	22658	0	0	0	836	21823	1	836	1
1/19/2017	21823	0	0	0	1066	20769	12	1066	12
1/20/2017	20769	0	0	0	831	19942	3	831	3
1/21/2017	19942	0	0	0	722	19221	1	722	1
1/22/2017	19221	0	0	0	303	18918	0	303	0
1/23/2017	18918	0	0	0	918	17992	-8	918	-8
1/24/2017	17992	0	0	0	960	17022	-10	960	-10
1/25/2017	17022	0	0	0	1209	15794	-18	1209	-18
1/26/2017	15794	0	0	0	814	14961	-19	814	-19
1/27/2017	14961	12767	13097	0	1207	26577	56	-11890	-274
1/28/2017	26577	0	0	0	767	25882	72	767	72
1/29/2017	25882	0	0	0	228	25677	23	228	23
1/30/2017	25677	0	0	0	963	24769	56	963	56
1/31/2017	24769	3644	4018	0	1159	27377	122	-2859	-251
2/1/2017	27377	0	0	0	845	26625	92	845	92
2/2/2017	26625	0	0	0	1161	25550	87	1161	87
2/3/2017	25550	0	0	0	937	24665	52	937	52
2/4/2017	24665	0	0	0	778	23923	35	778	35
2/5/2017	23923	0	0	0	247	23685	9	247	9
2/6/2017	23685	0	0	0	934	22779	28	934	28
2/7/2017	22779	0	0	0	1035	21768	24	1035	24
2/8/2017	21768	0	0	0	1083	20701	16	1083	16
2/9/2017	20701	0	0	0	1051	19658	8	1051	8
2/10/2017	19658	5878	6012	0	988	24543	-5	-5024	-139
2/11/2017	24543	0	0	0	869	23711	37	869	37
2/12/2017	23711	0	0	0	350	23373	12	350	12
2/13/2017	23373	0	0	0	859	22537	23	859	23
2/14/2017	22537	0	0	0	1090	21465	18	1090	18
2/15/2017	21465	6129	6403	0	782	26794	-19	-5621	-293

2/16/2017	26794	0	0	0	832	26037	75	832	75
2/17/2017	26037	0	0	0	1272	24844	79	1272	79
2/18/2017	24844	0	0	0	1219	23677	52	1219	52
2/19/2017	23677	0	0	0	409	23282	14	409	14
2/20/2017	23282	0	0	0	1183	22129	30	1183	30
2/21/2017	22129	0	0	0	992	21153	16	992	16
2/22/2017	21153	0	0	0	1205	19957	10	1205	10
2/23/2017	19957	5660	6477	0	748	25518	650	-5729	-167
2/24/2017	25518	667	0	0	924	24645	-615	924	51
2/25/2017	24645	0	0	0	1393	23309	57	1393	57
2/26/2017	23309	0	0	0	468	22854	13	468	13
2/27/2017	22854	6617	7033	0	1336	28107	-27	-5697	-444
2/28/2017	28107	0	0	0	1111	27150	154	1111	154
3/1/2017	27150	0	0	0	1189	26073	112	1189	112
3/2/2017	26073	0	0	0	742	25381	50	742	50
3/3/2017	25381	0	0	0	1217	24229	65	1217	65
3/4/2017	24229	0	0	0	1585	22689	46	1585	46
3/5/2017	22689	0	0	0	282	22422	15	282	15
3/6/2017	22422	4826	5022	0	1284	25989	24	-3738	-172



Influence of A Novel Catalysis on The Pyrolysis Yields Obtained by Two Different Reactors

Mert Kılınçel^{1,*}, Ethem Toklu¹, Fikret Polat¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Duzce University, Duzce, Turkey

Article History

Received: 10.03.2020
Accepted: 19.08.2020
Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – In the present study mixtures of polymeric and cellulosic biomass materials were pyrolyzed in the presence of two different catalysts (sepiolite and aluminium bauxite) in various ratios by two different reactors; a rotary kiln reactor (RKR) and a fixed bed pyrolysis reactor (FBR). The results were compared to determine the effects of pyrolysis parameters such as catalysts, feedstock and reactor types on the energy content of the final products. First, the polymeric and cellulosic materials were mixed at certain ratios and thus the mixtures were prepared. Then, thermally activated catalysts were added to these mixtures. At the end of the experiments, certain properties such as higher heating value (HHV), the elemental concentrations, particle size and size surface areas of the end products (for solid and liquid phases) were calculated and analysed. The HHV of the liquid products from bauxite added mixture in RKR and FBR was 42.74 MJ/kg and 40.95 MJ/kg respectively. Besides the HHV of the oil products from sepiolite added mixture in RKR and FBR was 41.28 MJ/kg and 38.94 MJ/kg respectively. These values are same and close to HHV of the conventional diesel (42.7 MJ/kg). However no considerable effect seen on HHV of char products from catalyst added mixtures. On the other hand, due to the SEM images the char products it can be clearly concluded that comparing with FBR, RKR had the better performance on pyrolysis of the biomass mixtures.

Keywords – Calorimeter, catalyst, cellulose, energy conversion, higher heating value, polymer, pyrolysis.

1. Introduction

The rapid depletion of the main energy sources of fossil resources has brought them to nearly the end point which is one of the main issues of this century. Searching and generating alternative energy sources are crucial all around the world since the energy requirements increases gradually. Scientists are encouraged to develop novel technologies by using different energy sources such as biomass. As a sustainable energy resource, biomass, the organic matters such as straw, sawdust, wood waste, etc., can be converted to proper fuel by thermal treatments (Wan et al., 2015). Although the formation of fossil fuels takes millions years, thermochemical processes allow to produce fuel in short times from seconds to several hours (Montoya et al., 2015).

Pyrolysis which occurs at the limited levels or absence of oxygen atmosphere is the most common thermochemical process to convert the biomass into energy dense products (Anca-Couce et al., 2014; Roy et al., 2017). This process is influenced by various parameters which also influence the properties of the products in terms of quality and quantity (Tripathi et al., 2016). These parameters can be listed as biomass composition and the particle size, heating rate, operating temperature, presence of catalyst, reactor type and residence time (Foster et al., 2012; Haykiri-Acma et al., 2006; Lédé, 2013; Stefanidis et al., 2014; Zhou et al., 2013). Several

¹ mertkilincel@duzce.edu.tr

² ethemtoklu@duzce.edu.tr

³ fikretpolat@duzce.edu.tr

*Corresponding Author

related studies have also been done on pyrolysis of biomass mixtures with plastic (HDPE, PP and PET) and cellulose (paper). These studies focused on the effect of different compositions of biomass leading to product yield of pyrolysis (Chattopadhyay et al., 2016; Sebestyén et al., 2017).

In this study, the effects of the catalysts and reactor type on the end products were investigated. Sepiolite and bauxite catalysts in various ratios were mixed with biomass-plastic samples separately or in a combination. The pyrolysis experiments were performed in two different reactors; a fixed bed and a rotary kiln reactor. The energy cases of the processes were compared by determining the energy input (heating values) and outputs (calorimetric values of the products).

The main objective of this study is to investigate the effect of the aluminium bauxite as a novel catalyst on the pyrolysis of biomass in pyrolysis process.

2. Materials and Methods

2.1. Feedstock

A mixture of polymer-biomass feedstock was used for the pyrolysis experiments. Biomasses included treated paper, cardboard, towel and wood particles while polypropylene (PP), low- and high-density polyethylene (LDPE, HDPE) and polycarbonate (PC) polymeric materials were prepared. Wood biomass specimens were provided from laboratory of Wood Product Industrial Engineering, Technology Faculty, Duzce University. Polymeric biomass specimens were provided from Ernamas Company, Çankırı. Biomass particles were prepared by cutting them to finer particles about 10-20 mm dimensions. The dimensional properties of the feedstock are given in Table 1.

Table 1
The dimensional properties of the constituents

Constituent Name	Particle size of specimens
Sd	0.2 mm -0.6 mm sawdust
Wp	10 mm - 20 mm wood particles
Cb	10 mm - 20 mm cardboard particles
Pa	10 mm - 20 mm A4 paper particles
PC	2-3 mm granular polycarbonate particles
PP	3-4 mm granular polypropylene particles
LDPE	3-4 mm granular low-density polyethylene particles
HDPE	3 mm granular high-density polyethylene particles
Ct	10 mm - 20 100% cotton towel
St	400-600 nm sepiolite particles
Bt	400-600 nm bauxite particles

Two different mixtures were created by adding certain proportions of these materials. First mixture contained 13.71% of polymer materials while the second mixture contained 41.08% of polymer materials. Sepiolite and bauxite catalysts with particle size of 5-10 μm were added to these mixtures in 15% (w/w) and six different mixtures were obtained.

Before used in the experiments, an activation process were applied to the catalysts to increase the surface areas (Salan, 2014). First the powdered samples were washed on a magnetic stirrer in a beherglas with distilled water at room temperature. The washed samples were filtered under vacuum with a 90 mm diameter filtration filter with 2-4 μm pore size. The filtered specimens were dried at 105°C for 36 hours. The dried samples cooled at room temperature. In the next step, samples were mixed in the ratio of 1 g catalysts to 10 mL of 2 M HCl solution and stirred at 200 rpm via heat assisted magnetic stirrer for 3 hours. Samples cooled to room temperature and washed via distillate water. Samples were filtered (Filter-Lab 1244- 90 mm \O , 80 gr/m², 2-4 μm pore) and washed until the pH of the filtered water became neutral. Neutralized samples were dried at 104 °C

for 36 hours. Dried samples were calcined at 550 °C for 2 hours. After these processes, samples were kept in desiccator until the experiments began.

The biomass mixtures were prepared and named as FM, FMS, FMB, RM, RMS, and RMB. F and R indicate the reactor types of FBR and RKR, respectively. The contents of the mixture samples are given in Table 2.

Table 2

Constituent percentage of the mixtures (CPM's)

CPM's	FM1 (%)	FM2 (%)	FMS1 (%)	FMS2 (%)	FMB1 (%)	FMB2 (%)	RM1 (%)	RM2 (%)	RMS1 (%)	RMS2 (%)	RMB1 (%)	RMB2 (%)
Sd	23.97	6.85	20.38	5.82	20.38	5.82	23.97	6.85	20.38	5.82	20.38	5.82
Wp	31.51	31.5	26.78	26.78	26.78	26.78	31.51	31.5	26.78	26.78	26.78	26.78
Cb	10.27	6.85	8.73	5.82	8.73	5.82	10.27	6.85	8.73	5.82	8.73	5.82
Pa	10.27	3.42	8.73	2.91	8.73	2.91	10.27	3.42	8.73	2.91	8.73	2.91
PC	3.42	10.27	2.91	8.73	2.91	8.73	3.42	10.27	2.91	8.73	2.91	8.73
PP	3.42	10.27	2.91	8.73	2.91	8.73	3.42	10.27	2.91	8.73	2.91	8.73
LDPE	3.42	10.27	2.91	8.73	2.91	8.73	3.42	10.27	2.91	8.73	2.91	8.73
HDPE	3.42	10.27	2.91	8.73	2.91	8.73	3.42	10.27	2.91	8.73	2.91	8.73
Ct	10.27	10.27	8.73	8.73	8.73	8.73	10.27	10.27	8.73	8.73	8.73	8.73
St	-	-	15.00	15.00	-	-	-	-	15.00	15.00	-	-
Bt	-	-	-	-	15.00	15.00	-	-	-	-	15.00	15.00

All the mixtures were prepared with precision scales (0.0001g sensitivity).

2.2. Pyrolysis

A laboratory-scale fixed bed pyrolysis reactor (FBR) and a rotary kiln pyrolysis reactor (RKR) were used in the pyrolysis experiments. All the experiments were maintained at N₂ atmosphere and at maximum temperature of 520 ±20 °C. The operating pressure values were equal with the ambient atmosphere Both FBR and RKR. This is why the RKR was continuous system and the FBR had an outline pipe for exhaust excessive gas.

The RKR is a ready to use system (Proterm RTR 11/100/500) which operates at 3 kW and a voltage of 220V. The working volume of the inner cylinder is a quartz material, having 114 mm diameter and 150 mm length. The schematic diagram and the snapshot are given in Figure 1 (a-b).

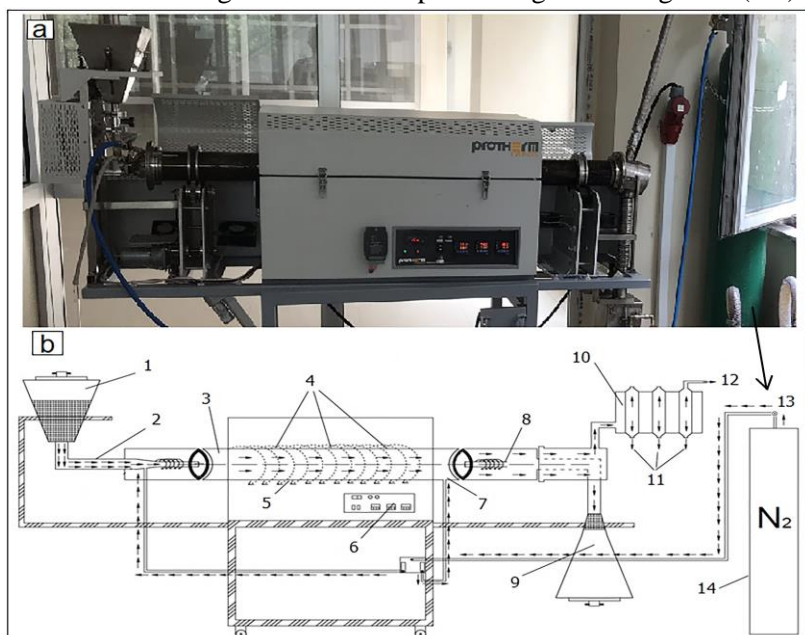


Figure 1. (a) Schematic diagram, (b) picture of the RKR

(1: sample inlet, 2: vibrational inlet conveyor, 3 and 7: N₂ inlet, 4: k-type temperature sensors, 5: quartz pyrolysis reactor, 6: data controller, 8: vibrational outlet conveyor, 9: char collection tank, 10: condenser, 11: pyrolysis oil outlet, 12: syngas outlet, 13: regulator for N₂ tank, 14: 50 L Cylinder 230 bar N₂ concave tank)

Figure 2 (a-b) shows the schematic diagram and picture of FBR pyrolysis system. The system was constructed from the 304 stainless steel material. The inner cylinder has 114 mm diameter, 150 mm length and 7 mm thickness. In order to supply the N_2 to the system, a 5 mm diameter cylindrical pipe extending from the nipple to the base of the unit was connected. The extension of the pipe to the bottom of the unit was also done to ensure an inert atmosphere in the whole unit. A K-Type thermocouple was used for the temperature measurements.

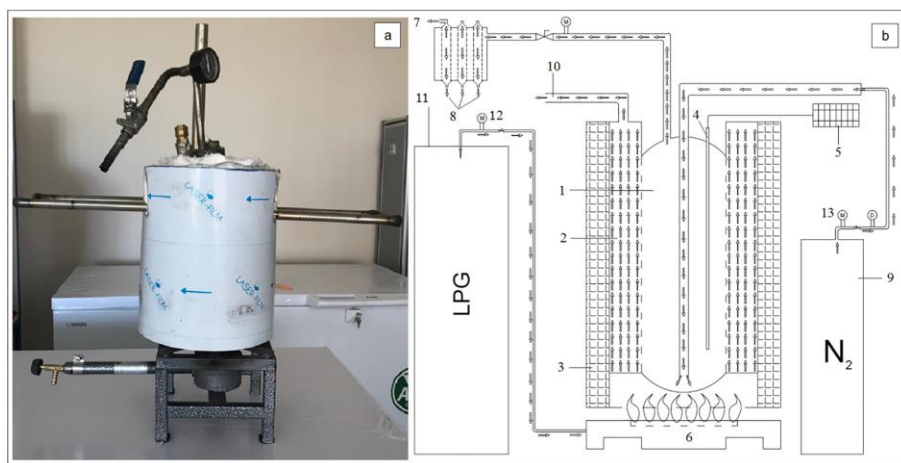


Figure 2. (a) Schematic diagram, (b) picture of the FBR (1: pyrolysis vessel, 2: burning gas smoke exhaust path, 3: 50 mm glass wool insulation, 4: temperature sensor (K-type termokupl), 5: temperature data logger, 6: burner, 7: syngas exhaust, 8: pyrolysis oil outlet (condenser), 9: 10 L Cylinder 200 bar N_2 concave tank, 10: burning gas smoke exhaust, 11: LPG cylinder, 12: regulator for LPG, 13: regulator for N_2 tank)

100 g sample was fed into the reactor and pyrolyzed at the desired temperature for 120 min. The heating rate was about $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ until the reactor reach the temperature of $520 \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$. Because of the heating process in the FBR realized via LPG, the heating rate was constant. Thus, considering the heating-up time the residence time was 130 ± 2 min for whole experiments. An inert atmosphere was provided by the inert gas N_2 with 20 ml/min flow rate. The rotation rate and the slope of the RKR were set to 3 rpm and 10° respectively. Water circulating chiller system was used outlet of the both reactors to transform the produced organic vapours into liquid phase. The exhaust gaseous flew through the pipe to the chiller system. Thus, the liquid phase of products collected. At these conditions, the experimental synchronization was provided for both reactor types. All the experiments were repeated for three times. These three percentages of the product yields were determined by taking the average of the weights obtained from the experiments and tests.

The obtained solid and liquid products were analysed with Fourier transform infrared spectroscopy-FTIR (Shimadzu- IR Prestige 21), calorimeter (IKA 5003 oxygen bomb calorimeter), scanning electron microscopy-SEM (FEI- Quanta FEG 250), brauner emmett teller-BET (Quantachrome Autosorb) and X-ray fluorescence-XRF (Spectro Xepos II). Gaseous yields were only calculated by subtracting the mass of liquid and solid from the total mass of feedstock as they cannot be analysed by our system.

3. Results and Discussion

3.1. Catalysts' Characterizations

Several processes were applied to the catalysts to obtain thermally active catalysts and to enhance the surface areas of the catalysts. BET surface area measurements were realized before and after of the activation process for both catalysts. While the process surface area of the sepiolite catalyst was increased about 9 times, bauxite catalyst was increased about 10 times. These increases indicate that the penetration properties were enhanced for both catalysts. The surface area analyses of the catalysts are given in Table 3. Similarly, according to the SEM images, it can be concluded that the particles of the both catalysts were become finer. It also shows that char products have finer particles in mixtures with catalyst comparing to the mixtures without catalyst. SEM images of the both catalysts before and after the activation process are given in Figure 3. Due to the increase of the surface areas of the catalysts, the contact surfaces of the catalysts were increased and accordingly the penetration degrees were increased. Besides, SEM images showed that the particle sizes of the catalysts were reduced from 50-100 μm to 5-10 μm . These reductions also indicate the increment of surface areas of the catalysts. XRF analyses were also performed to determine the chemical component and oxide concentrations of the catalysts. Table 4 shows these concentrations before and after the activation treatment. These concentrations indicate that the activation processes were increase the SiO_2 concentration in sepiolite while reducing them for bauxite. It can be interpreted the activation processes were effective for sepiolite on this perspective. On the other hand, it seems to the activation process not effective for the bauxite catalysts.

Table 3
BET surface analysis of the catalysis

Catalysts	BET Surface Area (m^2/g)	
	Before Activation	After Activation
Sepiolite	19.90	189.99
Bauxite	7.50	81.01

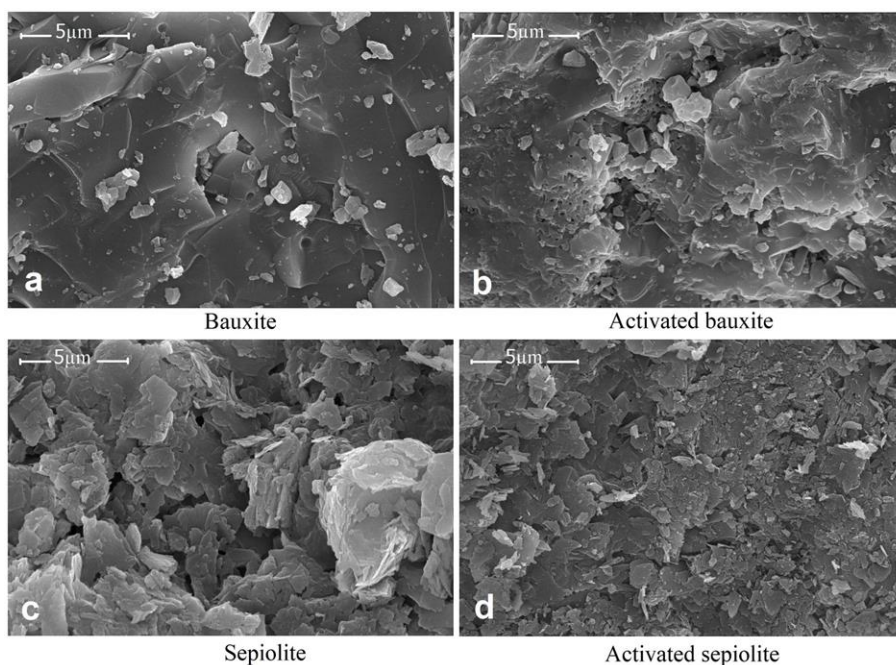


Figure 3. SEM images of the catalysts. (a), (b), (c), (d)

Table 4

The concentrations of catalysts

Oxide	Element	Concentration (%)			
		Sepiolite	Active sepiolite	Bauxite	Activated bauxite
SiO ₂	Silicon	65.88	90.33	8.901	9.866
MgO	Magnesium	32.74	0.6355	0.388	0.2577
CaO	Calcium	0.6348	0.1722	0.5416	0.1553
Fe ₂ O ₃	Iron	0.2772	0.4543	1.385	1.392
K ₂ O	Potassium	0.2557	0.8288	0.2208	0.1947
SO ₃	Sulfur	0.04318	-	0.02588	-
Na ₂ O	Sodium	0.031	0.843	0.079	-
TiO ₂	Titanium	0.0302	0.0922	3.584	4.431
V ₂ O ₅	Vanadium	0.0246	-	0.0284	0.036
Al ₂ O ₃	Aluminum	0.0077	-	87.22	85.74
MnO	Manganese	0.00282	9.564	-	-
Cr ₂ O ₃	Chromium	0.0014	-	0.03303	0.04281
P ₂ O ₅	Phosphorus	0.0012	0.01395	0.1972	0.1551
Ba	Barium	-	0.01772	-	-
ZrO ₂	Zirconium	-	0.0124	0.1447	0.1897
SrO	Strontium	-	-	0.0815	0.05571

3.2 Sample Characterizations

The FTIR analyses were performed to confirm that the materials were polymeric and cellulosic. The FTIR characteristics of the samples are given in Figure 4. The results were compared with the material library of the analyser and the properties of the materials were confirmed. According to the wavenumbers obtained from the FTIR analysis, the properties of the feedstock are verified.

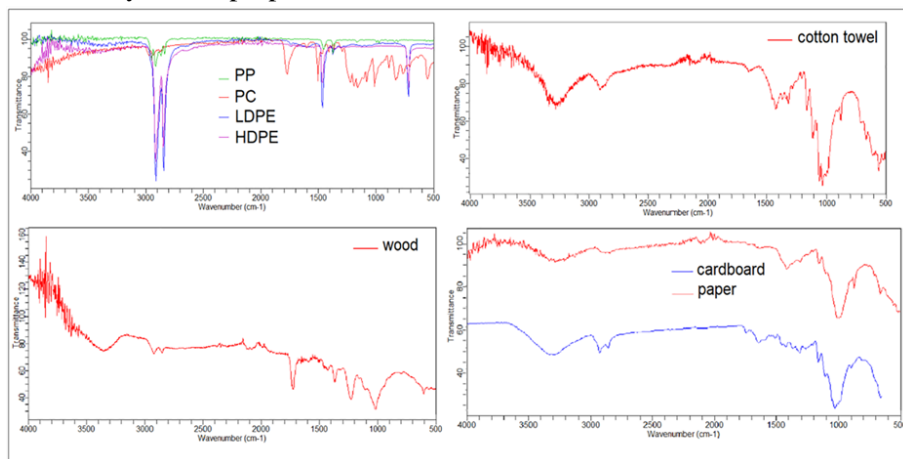


Figure 4. FTIR analysis of the feedstock

On the other hand, the higher heating values (HHV) of the untreated samples were determined with a bomb calorimeter. Test samples were prepared and tested according to [ASTM E711-87](#) specifications. Tests were conducted using IKA C5003 universal testing machine via using 0,1g samples. The primary goal was to calculate the total energy contents of the mixtures. According to the results of tests, HHV's of the untreated samples are given in Table 5.

Table 5

The HHV of the untreated samples

Sample	Weight of the sample (g)	HHV (cal/g)	HHV(MJ/kg)
Sd	0.1010	4542	19.02
Wp	0.1021	4380	18.34
Cb	0.1040	4155	17.40
Pa	0.1023	1683	7.05
PC	0.1016	7165	30.00
PP	0.1025	10031	42.00
LDPE	0.1023	6071	25.42
HDPE	0.1035	9792	41.00
Ct	0.1024	3477	14.56

3.3. Products Yields

0.0001 g precision scale was used while preparing mixtures. At the end of the experiments the weights of char and oil products were determined via this scale. Pyrolysis yield obtained from FBR and RKR are shown in Figure 5 and Figure 6 respectively.

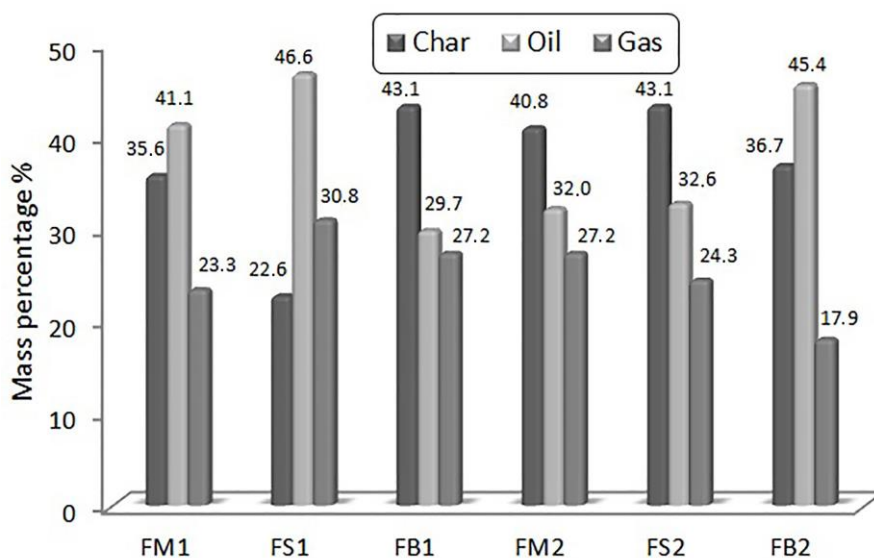


Figure 5. Pyrolysis yield from fixed bed reactor

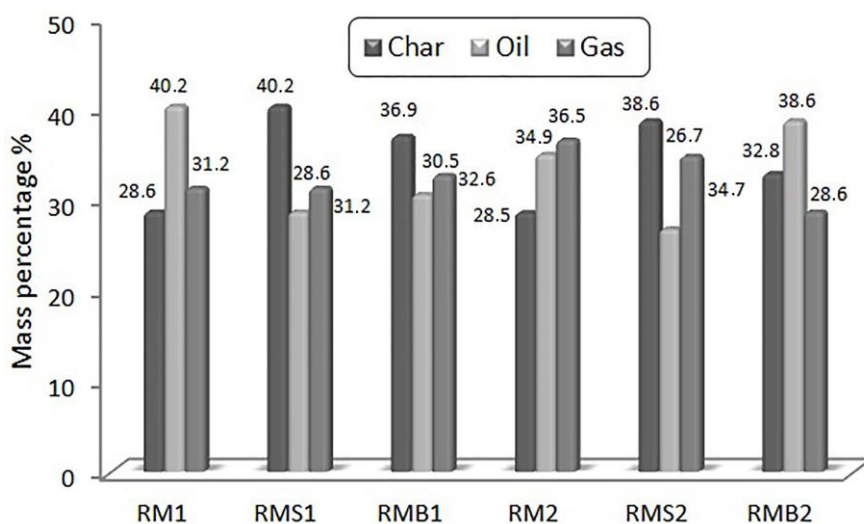


Figure 6. Pyrolysis yield from rotary kiln reactor

According to the yield distribution, the high yield of oil product was obtained in the presence of bauxite catalyst in FBR. On the other hand, the higher oil yield product was obtained in the catalyst-free mixtures in RKR even though it is not a big difference. However, the presence of the bauxite catalyst in the polymer rich mixtures in the RKR resulted with an increase in the amount of oil product yields. Besides, it is clearly observed that the sepiolite catalyst affects the formation of oil products positively in the cellulose rich mixture in the FBR. The maximum oil product yields for the pyrolysis of FS1 and FB2 were observed 46.6% and 45.4%, respectively. However, no linear increase or decrease was observed between the product yields due to the usage of the catalysts. The maximum char formation was seen in FB1 and FS2. This is thought to be due to the effective transformation in FBR. Since there is no similar study on pyrolysis of biomass mixture with these contents, the results were more selective. However, several studies about the effect of the catalysts on product yield of pyrolysis of biomass have reported similar observations (maximum liquid oil 40%, char 40% and 20% gas). According to these studies, the usage of catalysts increased the char and gas product yields while decreasing the oil product yield (Tripathi et al., 2016). Generally, it is thought that the reason for this is the several characteristic of the catalyst which controls the formation and transformation of hydrocarbon molecules (Tripathi et al., 2016). Similarly, several studies have also reported that the maximum liquid oil yield was 32% while minimum yield of liquid oil was 20% with the usage of catalysts of Al_2O_3 and zeolite (H-SDUSY) respectively.

3.4. Product's Characterizations

3.4.1. Char

The char residues were collected at the end of the processes. SEM images of these char residues were taken, and the particle sizes were determined. Figure 7 and 8 shows the SEM images of char products from RKR and FBR respectively. It can be concluded from the images that the polymer rich mixtures were cracked better than the cellulose rich mixtures. It's known that the usage of catalyst during the pyrolysis process has positive effect on the yield and quantity of the end products. Similarly, according to the images, the catalysis had positive effect on the cracking the materials. The type of the reactor is a considerable parameter which influences properties of pyrolysis products during the pyrolysis process (Tripathi et al., 2016). Comparing with the FBR the particle sizes of the char products from RKR were finer as expected. Unlike FBR, the reactor rotated during the pyrolysis process at RKR. Due to this rotational movement, the samples were mixed homogeneously during the process. Therefore, it is expected that the particle size of the products obtained from RKR is finer than the products that obtain from FBR. The HHV of the char products was determined with a bomb calorimeter (ASTM E711-87) and is given in Table 6. According to the HHV of the char products, it is seen that the catalysts affects the HHVs of chars negatively in the both RKR and FBR.

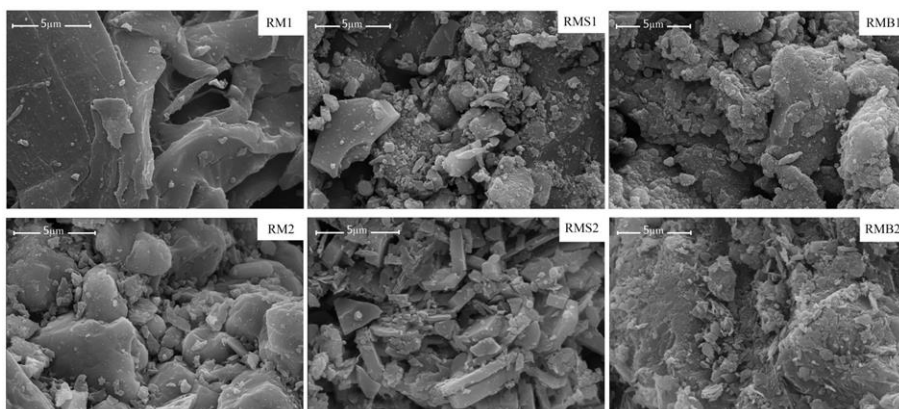


Figure 7. SEM images of the char products from RKR

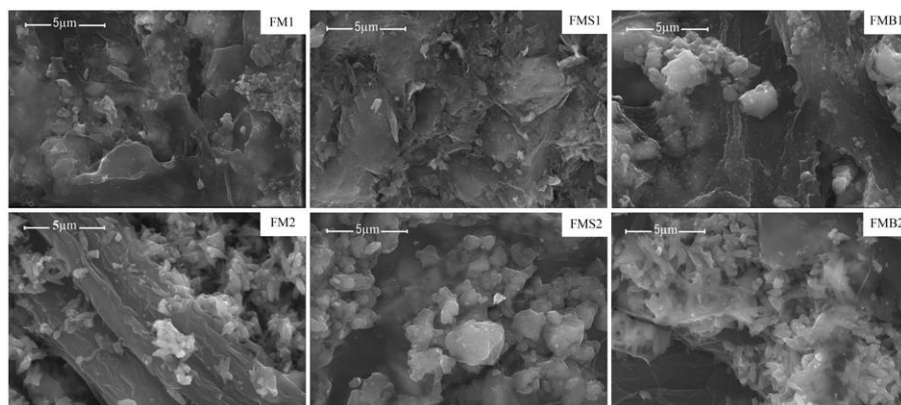


Figure 8. SEM images of the char products from FBR

Table 6

The HHV of the char products

Fixed bed reactor	HHV (MJ/kg)	Rotary kiln reactor	HHV (MJ/kg)
FM1 Char	11.30	RM1 Char	14.44
FMS1 Char	6.26	RMS1 Char	8.99
FMB1 Char	8.35	RMB1 Char	10.24
FM2 Char	12.41	RM2 Char	15.55
FMS2 Char	5.97	RMS2 Char	9.53
FMB2 Char	6.42	RMB2 Char	9.56

3.4.2. Properties of Oil Products

The pyrolysis oil products were analyzed and HHV of the products were determined with a bomb calorimeter (ASTM D240–02). The HHVs of the oil products are given in Table 7. The catalysts affect the calorific values of the products positively. The catalysts increased the HHV of the pyrolysis oil products especially for the both RKR and the FBR, comparing with the catalysts-free mixtures. Besides, the HHV of oil products which was obtained from RKR was found to be higher than those of FBR in the mixtures with the same content. It is also thought that the process is more homogenous during the pyrolysis process takes place in the RKR thanks to the rotational movement.

Table 7

The HHV of the pyrolysis oil products

Fixed bed reactor	HHV (MJ/kg)	Rotary kiln reactor	HHV (MJ/kg)
FM1 Pyrolysis oil	34.39	RM1 Pyrolysis oil	36.82
FMS1 Pyrolysis oil	37.41	RMS1 Pyrolysis oil	38.38
FMB1 Pyrolysis oil	38.18	RMB1 Pyrolysis oil	40.08
FM2 Pyrolysis oil	35.81	RM2 Pyrolysis oil	38.07
FMS2 Pyrolysis oil	38.94	RMS2 Pyrolysis oil	41.28
FMB2 Pyrolysis oil	40.95	RMB2 Pyrolysis oil	42.74

4. Conclusion

The pyrolysis of biomass is such an important process to obtain clean energy in an environmentally friendly manner. The process provides lots of advantages on transforming waste yields into clean and useful energy. Besides, the product yield has a wide range of use in the industry. Especially the oils and gas can be used as alternative fuels after certain pre-treatments and char products can be used as active carbon and carbon black. The catalytic pyrolysis of biomass mixtures with specific ingredients were carried out in FBR and RKR in the present study. The obtained data support that catalysts are important parameters that influence the product

yield distribution and HHV of the oils. The HHV of the oils were observed between 34.39 MJ/kg and 38.07 MJ/kg in catalyst-free mixtures. However, the HHV of the oils obtained from catalyst added mixtures changed between 37.41 MJ/kg and 42.74 MJ/kg. These results indicate that the catalyst-added mixtures can be effectively converted into energy rich products. Besides the type of reactor has also an effect on product yield distribution. Above all of these results the major effect is obviously the feedstock. So, this effect reveals import of the classification the biomass. Depending on the feedstock the HHV values were found in different values. The HHV of the oil products from RKR were between 36.82 MJ/kg and 42.74 MJ/kg while from FBR were between 34.39 MJ/kg and 40.95 MJ/kg. Comparing with the HHV of the products from two reactors, it is seen that both HHV of char and oil from RKR were higher than FBR. It can be noted that it is appropriate to use aluminium bauxite as catalyst to obtain the desired product quality and quantity on the end products of the pyrolysis processes.

Acknowledgement

The authors acknowledge the financial support from the DÜBAP-Duzce University Coordinatorship of Scientific Research Projects (Project No: 2016.06.06.405; Project Title: Improvement of Gas Production and Energy Efficiency of a Municipal Solid Waste Thermal Processing Plant).

Author Contributions

Mert Kılınçel: Collected data, performed the analysis and wrote the paper.

Ethem Toklu: Conceived and designed the analysis.

Fikret Polat: Collected data.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Anca-Couce, A., Mehrabian, R., Scharler, R., & Obernberger, I. (2014). Kinetic scheme of biomass pyrolysis considering secondary charring reactions. *Energy Conversion and Management*, 87, 687–696. doi: [10.1016/j.enconman.2014.07.061](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.061)
- ASTM E711-87 Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter.
- ASTM D240-02 Standard Test Method For Heat Of Combustion Of Liquid Hydrocarbon Fuels By Bomb Calorimeter.
- Chattopadhyay, J., Pathak, T. S., Srivastava, R., & Singh, A. C. (2016). Catalytic co-pyrolysis of paper biomass and plastic mixtures (HDPE (high density polyethylene), PP (polypropylene) and PET (polyethylene terephthalate)) and product analysis. *Energy*, 103, 513–521. doi: [10.1016/j.energy.2016.03.015](https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.015)
- Foster, A. J., Jae, J., Cheng, Y. T., Huber, G. W., & Lobo, R. F. (2012). Optimizing the aromatic yield and distribution from catalytic fast pyrolysis of biomass over ZSM-5. *Applied Catalysis A: General*, 423–424, 154–161. doi: [10.1016/j.apcata.2012.02.030](https://doi.org/10.1016/j.apcata.2012.02.030)
- Haykiri-Acma, H., Yaman, S., & Kucukbayrak, S. (2006). Effect of heating rate on the pyrolysis yields of rapeseed. *Renewable Energy*, 31(6), 803–810. doi: [10.1016/j.renene.2005.03.013](https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.03.013)
- Lédé, J. (2013). Réacteur de pyrolyse rapide de la biomasse: Une revue de quelques verrous scientifiques et d'actions de recherches recommandées. *Oil and Gas Science and Technology*, 68(5), 801–814. doi: [10.2516/ogst/2013108](https://doi.org/10.2516/ogst/2013108)
- Montoya, J. I., Valdés, C., Chejne, F., Gómez, C. A., Blanco, A., Marrugo, G., Osorio, J., Castillo, E., Aristóbulo, J., & Acero, J. (2015). Bio-oil production from Colombian bagasse by fast pyrolysis in a fluidized bed: An experimental study. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 112, 379–387. doi: [10.1016/j.jaap.2014.11.007](https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.11.007)
- Roy, P., & Dias, G. (2017). Prospects for pyrolysis technologies in the bioenergy sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 59–69. DOI: [10.1016/j.rser.2017.03.136](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.136)
- Salan T., M. Hakkı Alma & Ertuğrul Altuntaş (2019) The fuel properties of pyrolytic oils obtained from

- catalytic pyrolysis of non-recyclable pulper rejects using activated natural minerals, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41:12, 1460-1473, DOI: [10.1080/15567036.2018.1548522](https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1548522)
- Sebestyén, Z., Barta-Rajnai, E., Bozi, J., Blazsó, M., Jakab, E., Miskolczi, N., & Czégény, Z. (2017). Catalytic Pyrolysis of Biomass and Plastic Mixtures Using HZSM-5 Zeolite. *Energy Procedia*, 105, 718–723. doi: [10.1016/j.egypro.2017.03.381](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.381)
- Stefanidis, S. D., Kalogiannis, K. G., Iliopoulou, E. F., Michailof, C. M., Pilavachi, P. A., & Lappas, A. A. (2014). A study of lignocellulosic biomass pyrolysis via the pyrolysis of cellulose, hemicellulose and lignin. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 143–150. doi: [10.1016/j.jaap.2013.10.013](https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.10.013)
- Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis : A review. 55, 467–481. doi: [10.1016/j.rser.2015.10.122](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122).
- Wan, K., Wang, Z., He, Y., Xia, J., Zhou, Z., Zhou, J., & Cen, K. (2015). Experimental and modeling study of pyrolysis of coal, biomass and blended coal-biomass particles. *Fuel*, 139, 356–364. doi: [10.1016/j.fuel.2014.08.069](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.08.069)
- Zhou, L., Yang, H., Wu, H., Wang, M., & Cheng, D. (2013). Catalytic pyrolysis of rice husk by mixing with zinc oxide: Characterization of bio-oil and its rheological behavior. *Fuel Processing Technology*, 106, 385–391. doi: [10.1016/j.fuproc.2012.09.003](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.09.003)



Estimation of the Climate Preference Between Two Lineages of European Ground Squirrel Using Maximum Entropy Modeling

Sadık Demirtaş^{1,*}

¹ Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Turkey

Article History

Received: 28.02.2020

Accepted: 09.10.2020

Published: 29.12.2020


Research Article

Abstract – *Spermophilus citellus* (Linnaeus, 1766), commonly referred to as the European ground squirrel, exists in specific areas of Central Europe and the Balkans. The species is currently listed as “vulnerable” on the IUCN Red List of Threatened Species. Recently genetic studies have shown that the species has two main lineages; the *northern* and the *southern*. The *northern* lineage shows distribution range at the central and western part of the Balkans and Central Europe, whereas the *southern* lineage is spread in a more limited area, which includes the southern and eastern parts of the Balkans. The purpose of this study is to reveal the potential geographic distribution in Last Glacial Maximum (approximately 22 kya), present and future (average 2070) periods of these lineages using Maximum Entropy modeling (MaxEnt). This study also contributes to comparing the distribution of two lineages between past, present and future periods. The final MaxEnt with ten replicate runs was constructed based on 80 occurrence records from Austria, Bulgaria, Czech Republic, Greece, Hungary, Slovakia, Serbia, Macedonia, Moldova, Romania, Turkey and Ukraine, and twelve abiotic bioclimatic variables obtained from WorldClim. Thus, it was attempted to estimate the importance of bioclimatic factors influencing the potential geographical distribution for each lineage as well as assessing the area under curve values. This study showed that the two lineages of the European ground squirrel had different geographic distribution patterns for past, present and future periods. Moreover, the study will make important contributions to conservation studies such as management strategies, species action plans and translocation.

Keywords – Climatic preference, ecological niche modeling, European ground squirrel, geographic distribution, maxent, jack-knife test

1. Introduction

The Quaternary period witnessed many climatic and environmental changes at different stages until today. The current distribution of European species was shaped by the consecution of the glacial and interglacial periods in the Quaternary during which a large part of northern Europe was covered by ice (Hewitt, 2000). A large part of the area above 40° in Europe was covered by broad terrestrial ice-sheets at a temperature of about 10° C lower than today's (Birks & Willis, 2008). Because of the changing ice sheets and ocean currents, the geographic ranges of the animal species were affected across Europe and Asia especially during the Last Glacial Maximum (LGM) (Peltier, 1994; Pollard & Thompson, 1997). LGM probably pushed many terrestrial species to survive in refugial areas in the Mediterranean peninsula. It is predicted that the European continent had three classical southern refugia in the Mediterranean (Iberian, Italian and Balkan) which made significant contributions to the re-colonization of northern Europe (Hewitt, 2000; Stewart et al., 2010). From these areas, the Balkan refugial area is undoubtedly the most effective in the re-population of eastern and western parts (Hewitt, 1996; 2000). Moreover, an area called “cryptic northern refugia” has been identified based on fossil and genetic evidence in northern Europe; this refugium had many different ecological characteristics from the South (Stewart & Lister, 2001; Stewart et al., 2010).

¹  sadikd@omu.edu.tr

*Corresponding Author

Ecological niche modelings (ENM) are correlative approach methods that are used to predict the distribution of a species or evolutionary lineage across a given geographic area and time using bioclimatic variables or other variables such as soil type and wind speed. These methods are based on the fact that the localities where the species lives are known, the potential distribution area at unsampled locations of that species in the past, present, or future can be inferred by using environmental variables (Peterson et al. 2002; Hijmans & Graham, 2006; Elith et al., 2011). In recent years, ENM has been widely used in scientific fields such as conservation biology, ecology, phylogeography and evolution (Gür, 2013; Tzvetkov & Koshev, 2016; Zaharia et al., 2016; Gür et al., 2017; Qiao, Escobar, & Peterson, 2017). The information obtained from ENM is important for the protection of endangered species and the prevention of habitat loss (Guisan et al., 2013). The Maximum Entropy Algorithm (MaxEnt, Phillips et al., 2004, 2006, 2017a,b) is a presence-background method and is one of the most preferred methods for relating species records to bioclimatic variables (Elith et al., 2011). The algorithm is among the top-performing methods in terms of prediction accuracy and may remain effective despite small sample sizes (Pearson et al., 2006; Elith et al., 2006; Wisz et al., 2008).

Presently the European ground squirrel, *Spermophilus citellus* is spread from central to south-eastern Europe, but its distribution area is divided into two main geographical areas by the Carpathian Mountains (Kryštufek, 1999; Wilson & Reeder, 2005; Coroiu et al., 2008; Matějů et al., 2010). Phylogeographic studies focusing on individuals representing a large part of the distribution range of the species indicate that the European ground squirrel has two major genetically independent lineages with seven sublineages (Gündüz et al., 2007; Kryštufek et al., 2009; Říčanová et al., 2013). The *northern* lineage includes individuals from Austria, Bulgaria, Czech Republic, Slovakia, Hungary, Serbia, Macedonia, Moldova, Romania and Ukraine and the *southern* lineage consists of individuals from Bulgaria, Greece, Southern Macedonia, Romania and the European part of Turkey (Thrace). These lineages show sympatric distribution within a restricted area in Central and Eastern Bulgaria. Říčanová et al. (2013) emphasized that the separation time of the *northern* and *southern* lineages dates back to the middle Pleistocene period (1.31-1.79 million years ago). Moreover, they proposed possible scenarios based on phylogenetic and biogeographical analyses about the ancestral areas of these lineages. According to these scenarios, Serbia and Macedonia haplotypes represent the oldest *S. citellus* population to the west of the Carpathians. Paleontology also supports the appearance of to the west of the Carpathians in Central and Western Europe in the Gunz glacial of Austria (c. 750 kya, Kurten, 1968). The other haplotypes colonized large areas during several later. The *southern* lineage originated probably in southeast Bulgaria and first colonized the European part of Turkey. The oldest species record is from the Yarimburgaz Cave in the European part of Turkey and is dated back to 1.323-0.885 Ma (Santel & von Koenigswald, 1998; Fortelius, 2011). Furthermore, the area around the Carpathian mountains has been a refuge area for many mammalian species (Benda & Ivanova, 2003; Mráz & Ronikier, 2016; Savić, Ćirović, & Bugarski-Stanojević, 2017) and is known to be an important source of genetic diversity, during the Quaternary period (Hewitt, 2000).

Until recently the European ground squirrel occurred in very large numbers in steppe and pasture areas with discontinuous shrubs and trees up to 2,500 m above sea level (Kryštufek & Vohralík, 2005; Popova et al., 2019). The population size of the European ground squirrel decreased rapidly due to high death rates caused by habitat fragmentation and anthropogenic effects such as agricultural and industrial activities (Zaharia et al., 2016). Today, the population has become fragmented, and even disappeared from peripheral parts of its previous range, as in Germany, Poland and Croatia (Coroiu et al., 2008). Therefore, action plans and reintroduction and conservation projects were prepared in different European countries where the species has been extinct (Balaz, Jancova, & Ambros, 2008; Matějů et al., 2010; 2012; Gedeon et al., 2011, 2012; Janák, Marhoul, & Matějů, 2013; Löbbová & Hapl, 2014; Koshev et al., 2019). As a result, *S. citellus* has been a protected species within the European legislation under the Bern Convention and EU Habitats and Species Directive. Moreover,

S. citellus is currently listed as “vulnerable” on the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources Red List of Threatened Species (Coroiu et al., 2008).

Recently, ENM, fossil and molecular studies have focused on several ground squirrel species about their likely responses to global climate change (Musil, 1985; Gür, 2013; Řičanová et al. 2013; Gür et al., 2017). In these studies, they were tried to predict the responses of the species to global climate changes during glacial-interglacial cycles. The ENM's results in the past periods suggested that the range limit of *S. xanthoprimum* expanded rather than contracted throughout the glacial periods and contracted rather than expanded throughout the interglacial periods (Gür, 2013), contrary to the classical paradigm. Moreover, the results in the present period revealed that annual precipitation and temperature affect the geographical distribution of the species as well as plant productivity. But the *S. taurensis* showed a different geographical displacement. The results demonstrated that the species survived throughout Late Quaternary glacial-interglacial cycles by altitudinal migrations without a large range change movement (Gür et al., 2017). Furthermore, the present analysis result suggested winter temperature and precipitation affect the range limit of the species. These analyses revealed that as warming continues, the potential distribution of species will continue to shift towards higher altitudes, and its range area will be restricted in the future. In another study, the fossil record of *S. citellus* indicated that it had a wider distribution during the Pleistocene glacial periods than in the interglacial periods (Musil, 1985). Therefore, the current distribution of the species is restricted, which suggests that the European ground squirrel responds to global climatic changes along the oceanic–continental gradient (Stewart et al., 2010). Also, the continental refugia concept has been supported by molecular studies (Řičanová et al. 2013).

ENM can be an effective tool in identifying suitable habitats for the European ground squirrel (Zaharia et al., 2016; Tzvetkov & Koshev, 2016). Some climate differences observed among the modern geographic distribution of the northern and southern lineages indicate that climate is one of the main determinants of the presence of *S. citellus* in an area. Therefore, this study aims to find answers to the following questions by using niche analysis based on bioclimatic data.

i) How was the potential distribution of *S. citellus* in central Europe and the Balkans in the Last Glacial Maximum? ii) Is the geographical distribution obtained from ENM of the species throughout the Late Quaternary period compatible with the continental gradient refugia concept, which is also supported by fossil evidence? iii) Which areas were potentially suitable habitats for *S. citellus* lineages? iv) What are the potential distribution areas, bioclimatic variables and their contribution values affecting the distribution of *S. citellus* today? v) Will the future distribution of *S. citellus* change compared to its current distribution? vi) How will *S. citellus* adapt to future climate change? vii) Can ENM improve the success rate of reintroduction and conservation projects on *S. citellus*?

2. Materials and Methods

2.1. Species Data

Known presence occurrence and translocation records of *S. citellus* were compiled from different resources including Katona, Váczi, & Altbäcker (2002); Harrison et al. (2003); Gündüz et al. (2007); Youlatos et al. (2007); Balaz, Jancova, & Ambros, 2008; Hoffmann, Turrini, & Brenner (2008); Hulová & Sedláček (2008); Koshev (2009); Kryštufek et al. (2009); Matějů et al. (2010, 2012); Gedeon et al. (2011), Řičanová et al. (2011, 2013); Haberl, Kryštufek, & Hoffmann (2012); Baltag et al. (2014); Löbbová & Hapl (2014); Diakou, Kapantaidakis, & Youlatos (2015); Barkaszi & Zagorodniuk (2018); Koshev et al. (2019); the Global Biodiversity Information Facility website (www.gbif.org) and field observations (Figure 1). From these records, locations of molecular-based studies were selected and georeferenced to ensure the precision of the data using Google Earth, version 7.1 (<http://www.google.com/earth>) and DIVA-GIS, version 7.5 (www.diva-gis.org) and the data set used in this study was constructed based on the sublineages (northern and southern)

characterized by mtDNA cytochrome *b* gene of *S. citellus*. Multiple presence records were spatially filtered and randomly removed within 20 km distance to correct sampling bias and ensure high geographical heterogeneity (Pearson et al., 2006; Fourcade et al., 2014). Geographic Distance Matrix Generator version 1.2.3 ([http:// biodiversityinformatics.amnh.org](http://biodiversityinformatics.amnh.org)) was used to calculate the spatial geographic distance among localities. Thus, 59 records for the *northern* lineage from nine countries (Austria, Bulgaria, Czech Republic, Hungary, Macedonia, Moldova, Romania, Serbia and Slovakia) and 21 records for the *southern* lineage from five countries (Bulgaria, Greece, Macedonia, Romania and Turkey) were used in this study.

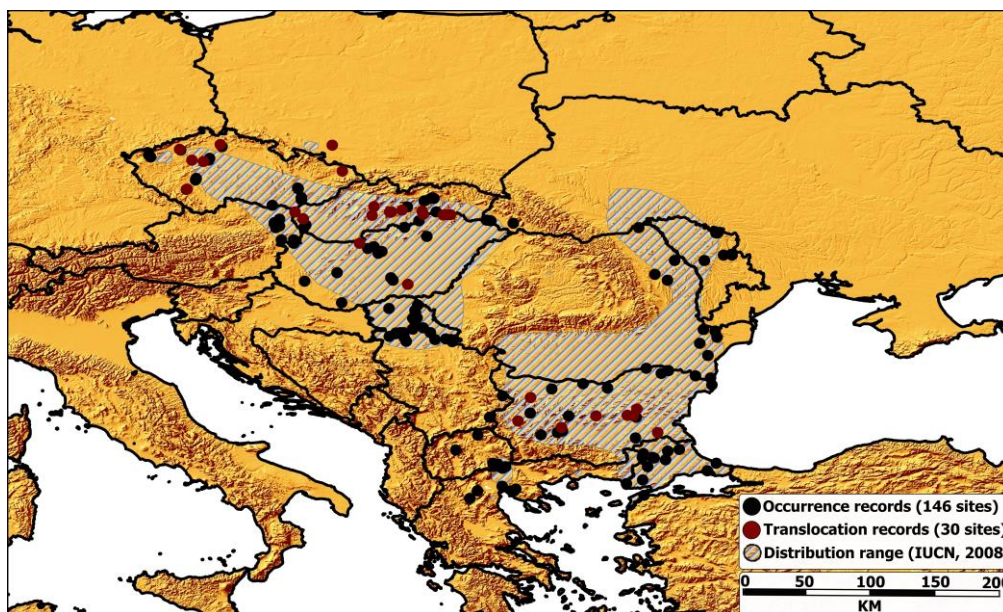


Figure 1. Map of known occurrence and translocation records of the European ground squirrel.

2.2. Bioclimatic Variables

19 bioclimatic variables were downloaded from WorldClim Version 1.4 (<http://www.worldclim.org/>) with a high resolution of 1x1 km (30 arc seconds) for the past (LGM, approximately 22 kya), the present data (1950-2000) and future (average 2070) under the RCP 4.5 emissions scenario (Hijmans et al., 2005). LGM data was based on two Global Climate Models (CCSM4: The Community Climate System Model and MIROC-ESM: The model for Interdisciplinary Research on Climate). Future data was also based on the above Global Climate Models with only presentative concentration pathways (RCP 4.5) predicting climate change emission scenarios. The downloaded file format was GeoTIFF. All these variables were masked to include only 09° to 37°E and 37° to 58°N. Variables which were highly correlated with each other were removed using Pearson correlation coefficients ($r > 0.85$) by the SDM toolbox, version 2.4 (Brown, 2014; Brown, Bennett, & French, 2017) to eliminate multicollinear variables, which can lead to overfitting problems (Dormann et al., 2013; Feng et al., 2019). GeoTIFF raster files were converted to ASCII format using SDM toolbox in ArcGIS version 10.2 (<https://www.esri.com>). Other file conversions and data processing was conducted using ArcGIS (<https://www.esri.com>) and DIVA-GIS software. Consequently, a dataset including twelve bioclimatic variables was selected to reveal the niche modeling of the European ground squirrel. MaxEnt version 3.4.1 (Phillips et al., 2006; 2017 a,b) was used for calculating the average of the area under the receiver operator curve (AUC), as well as for assessing the contribution of the environmental variables. In addition, Jack-knife testing was used to assesses the contribution of each environmental variable to the model. MaxEnt settings were logistic output format, 10 random replicate analyses with cross-validation method, minimum training presence threshold, random seed and fade by clamping subsets; all other options were left on default. The AUC is widely used to estimate the predictive accuracy of the developed model (Hanley & Mcneil, 1982). The AUC

has values that typically range from 0.5 to 1, where 1 indicates high performance while 0.5 indicates low performance (Luoto et al., 2005; Elith et al., 2006). If the AUC values are more than 0.80, the constructed model is applicable (Swets, 1988) but if these are less than 0.5, then the model fits worse than a random one (Engler, Guisan, & Rechsteiner, 2004). The AUC values with 10 replicate runs were calculated separately for the *northern* lineage, the *southern* lineage, and the combined data.

3. Results and Discussion

The average test AUC values of the constructed model with 10 replicate runs based on default setting in MaxEnt software showed high accuracy in all distribution areas of *S. citellus*. All AUC values detected in this study were higher than 0.80, indicating that the model was reliable. These values are shown in Table 1. The 12 bioclimatic variables predicting the present potential distribution of *S. citellus* are given in Table 2 together with their contribution values. The results of the Jack-knife test supported the MaxEnt results for whole species' range, *northern* lineage and *southern* lineage (Supplementary material, Figure S1-3).

Table 1

AUC values and standard deviation for whole species' distribution and sublineage's distribution models

Model	AUC	AUC stdv.
<i>northern</i> lineage	0.944	0.005
<i>southern</i> lineage	0.981	0.007
whole species' range	0.934	0.008

Table 2

Percentage contribution (Pc) and permutation importance (Pi) values of bioclimatic variables used for predicting the present potential distribution of *S. citellus*

Bioclimatic variable	<i>Northern line-</i>		<i>Southern line-</i>		Combined	
	age		age		data	
	Pc (%)	Pi (%)	Pc (%)	Pi (%)	Pc (%)	Pi (%)
Annual mean temperature (Bio 1)	0.0	0.5	0.2	0.0	0.6	0.2
Mean diurnal range (Bio 2)	27	35.8	2.1	0.1	28.4	24.4
Temperature annual range (Bio 7)	10.6	17	10.1	3.0	9.8	15.5
Mean temperature of wettest quarter (Bio 8)	20.6	6.3	6.0	0.4	10.9	4.3
Mean temperature of driest quarter (Bio 9)	18.6	2.9	33.5	0.4	8.8	3.7
Mean temperature of warmest quarter (Bio 10)	2.1	5.2	6.8	3.5	4.3	8.9
Mean temperature of coldest quarter (Bio 11)	7.7	1.4	11.2	2.5	13.6	4.3
Annual precipitation (Bio 12)	1.7	1.3	1.8	1.6	11.2	10.7
Precipitation of wettest month (Bio 13)	0.5	0.5	6.4	1.8	1.0	2.0
Precipitation of driest quarter (Bio 17)	1.0	5.3	12.2	5.2	6.6	7.9
Precipitation of warmest quarter (Bio 18)	4.8	9.3	9.3	80.8	0.9	9.3
Precipitation of coldest quarter (Bio 19)	5.3	14.4	0.5	0.7	3.9	8.9

Although habitat information and ecology of the species was extensively researched in previous studies (Václavík & Altbäcker, 1999; Hoffmann et al., 2003; Kryštufek & Vohralík, 2005; Özkurt et al., 2005; Matějů et al., 2008; Janderková et al., 2011; Ramos-Lara et al., 2014), there has not been a clear distinction between the lineages. In contrast to previous studies, this study aimed to determine the particular niche requirements for each of the lineages based on bioclimatic data. The raw output of the MaxEnt, which is a continuous prediction

of environmental variables of certain geographical locations, was completed for *S. citellus* for three different time periods (the LGM, the present, and the future). The MaxEnt prediction for the present period (Figure 2A, Figure 2B and Figure 2C) nearly matched with the known geographical distribution of the European ground squirrel, suggesting that the distribution is probably closely linked to climatic conditions. The present period analysis also showed that the known geographical distribution of the European ground squirrel highly overlaps with previous studies (Kryštufek, 1999; Hoffmann et al., 2003; Wilson & Reeder, 2005; Gündüz et al., 2007; Coroiu et al., 2008, Kryštufek et al., 2009; Matějů et al., 2010; Řičanová et al., 2011; 2013; Tiryaki, 2015). However, MaxEnt results indicate the presence of other suitable habitats, particularly in Macedonia and western Greece. It seems that there are still localities waiting to be discovered for *S. citellus*. It is also known that there are no populations of *S. citellus* among climatically suitable areas including Poland, Germany, the Italian peninsula, the Crimean Peninsula, and the north-western Anatolia.

For the present period, the highest bioclimatic parameter (the percentage contribution or permutation importance) for the *northern* lineage and the whole species' range were the mean diurnal range (Bio 2). Bio 2 can help provide information pertaining to the relevance of temperature fluctuation for different species (O'Donnell & Ignizio, 2012). The value of this parameter can well reflect the climatic characteristics of a geographic area. If the mean diurnal range is relatively large, it implies that there are relatively high temperature and powerful sunlight during the day in region. The high temperature and the powerful light is conducive to plant photosynthesis and productivity thereby affecting life characteristics such as body mass, reproductive success, and survival of ground-dwelling squirrels (Van Horne, 2003). Also, the two parameters for the *southern* lineage were the mean temperature of the driest quarter (Bio 9) and the precipitation of warmest quarter (Bio 18). Bio 9 and Bio 18 provide mean temperatures and total precipitation during the driest and warmest three months of the year, which can be useful for examining how such environmental factors may affect the seasonal distribution of the species. Here, two parameters imply the summer temperature and precipitation which contribute to plant productivity and therefore to the nutrition of the species. These results also indicate that the *southern* lineage prefers arid and dry areas. Moreover, the *northern* lineage prefers to be present in areas where 'annual mean temperature' is between 5.49-11.89°C (approximately 9.74°C), and 'annual precipitation' is between 428-847 mm (approximately 597 mm). In contrast, the *southern* lineage prefers to be present in areas where 'annual mean temperature' is between 10.68-16.14°C (approximately 13.12°C), and 'annual precipitation' is between 438-703 mm (approximately 573 mm). These results support that the northern and southern lineages have adapted to different climatic conditions. This information is a good criterion in selecting suitable areas for translocation studies such as reinforcement and reintroduction. Thus, this study will help researchers to determine the areas where action plans and conservation project can be implemented to ensure the continued existence of the species.

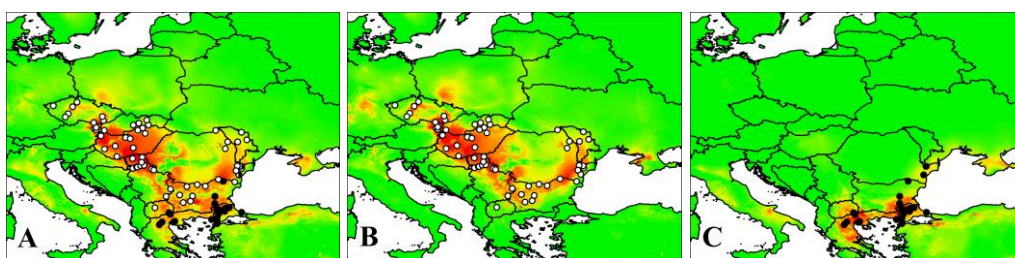


Figure 2. The MaxEnt modeling prediction for the present period (A. combined data, B. *northern* lineage, C. *southern* lineage). The open circle shows the occurrence records of the *northern* lineage, and the closed circle shows the occurrence records of the *southern* lineage

The combined data shows a potential distribution area between the latitudes of 39° to 53°N, and longitudes of 13° to 30°E throughout Europe (Figure 2A). The MaxEnt results also show that the *northern* lineage has a

potential distribution area between the latitudes of 41° to 53°N, and longitudes of 11° to 3°E in middle Europe (Figure 2B), whereas the *southern* lineage has a potential distribution area between the latitudes of 39° to 46°N, and longitudes of 21° to 29°E in the Balkan region (Figure 2C) under the present climatic conditions. However, the distribution map provided by the IUCN shows that *S. citellus* is distributed between the latitudes of 40° to 51°N, and longitudes of 13° to 29°E in Europe. That is, the IUCN coordinates are slightly different from predictions from this study. The results show that the potentially suitable climatic distribution of two *S. citellus* lineages is likely to expand under present climate scenarios, indicating that more suitable habitats will be available for the introduction and reintroduction of the species. These results are consistent with previous studies (Gür, 2013; Gür et al., 2017; Stojak et al., 2019). Nevertheless, it should not be ignored that species distributions are affected by complex dynamics (e.g. microclimate, competition, anthropogenic factors) as well as bioclimatic parameters acting on the distribution area.

The boundaries of the distribution of suitable geographic areas for *S. citellus* throughout central Europe and the Balkans, suggested by CCSM and MIROC paleoclimatic models, cover a more obvious wide area compared to the present period. This area is particularly noticeable in regions including Germany, the Czech Republic, and Romania. The MIROC model predicts (Figure 3A.2 and Figure 3B.2) more areas to be suitable than the CCSM model (Figure 3A.1 and Figure 3B.1) for the combined data and the *northern* lineage, but does not predict the same for the *southern* lineage (Figure 3C.2). Similarly, the western coast of the Black Sea is not predicted as a suitable area for the geographic distribution of the *southern* lineage, especially in the CCSM model (Figure 3C.1). Additionally, both models show that the *northern* lineage extended almost to the central regions of Germany, but did not reach Poland. These results are similar to those of Musil (1985) who suggest that the glacial periods were wider than the present interglacial period, and support “cryptic northern refugia” hypothesis for temperate species.

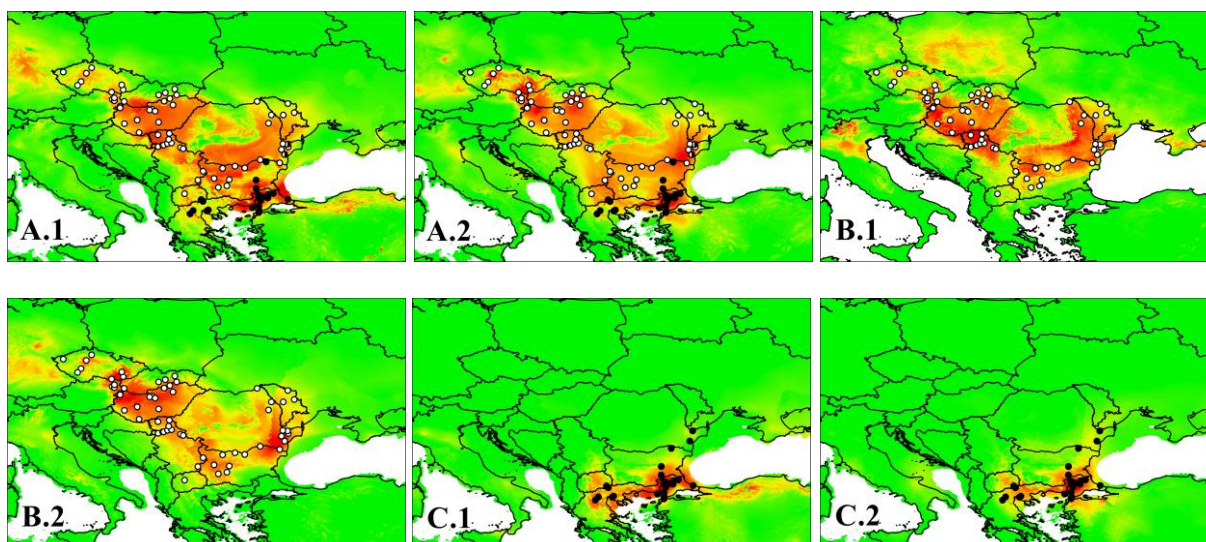


Figure 3. The MaxEnt modeling prediction for the LGM period (A.1. combined data with CCSM model, A.2. combined data with MIROC model, B.1. *northern* lineage with CCSM model, B.2. *northern* lineage with MIROC model, C.1. *southern* lineage with CCSM model, C.2. *southern* lineage with MIROC model).

MaxEnt predictions suggest two hot spots for the *northern* lineage at the Pannonian basin and the south-eastern part of the Carpathian Mountains. These regions probably refer to the most extensive suitable habitat areas during the LGM period (Figure 3B.1 and Figure 3B.2). The area around the Carpathian Mountains provided somewhat more temperate climatic conditions than the northern latitudes and formed two refuge areas for the *northern* lineage. These regions also contain unique fauna and flora elements today (Stewart & Lister, 2001; Stojak & Tarnowska, 2019). On the other hand, MaxEnt shows that the *southern* lineage occupies a single

hotpoint area around Bulgaria and European Turkey (Figure 3C.1 and 3C.2). This region includes the lowland Thrace, Rhodopes and Istranca Mountains and, also has many indigenous plant and animal species today (Petrova & Vladimirov, 2010; Valchovski & Mısırlıoğlu, 2017; Kryštufek et al., 2018). Moreover, these regions were also indicated as ancestral areas for the origin of the *S. citellus* lineages identified by Říčánová et al. (2013).

Interestingly, even though central Macedonia contained more suitable habitats for the *southern* lineage compared to the *northern* lineage, phylogenetic analysis indicated that the Macedonian sublineage was part of the *northern* lineage in LGM. It appears that this sublineage settled in this region much earlier than the *southern* lineage. This inference confirmed the molecular clock hypothesis that the separation of the sublineage within the *northern* lineage started between 0.80 and 1.10 million years ago (Říčánová et al., 2013). Conversely, north-eastern Bulgaria and south-eastern Romania contained more favorable habitats for the *northern* lineage compared to the *southern* lineage in LGM. Presumably, this spectacle suggests that the *southern* lineage began to settle in these regions immediately after the LGM period. Moreover, the phylogenetic analyses (Říčánová et al., 2013) which include samples from this region show that sublineages within the *northern* lineage furcated approximately 0.45 million years ago, while sublineages within the *southern* lineage furcated approximately 0.34 million years ago.

The combined data show a potential distribution area between the latitudes of 38° to 51°N and longitudes of 14° to 30°E throughout Europe (Figure 4A.1 and Figure 4A.2). The MaxEnt results also show that the *northern* lineage will have a potential distribution area between the latitudes of 41° to 52°N and longitudes of 10° to 29°E in central Europe (Figure 4B.1 and Figure 4B.2), and the *southern* lineage will have a potential distribution area between the latitudes of 38° to 45°N and longitudes of 20° to 28°E in the Balkan region (Figure 4C.1 and Figure 4C.2) under future climatic conditions. According to these results, the future potential distribution density of the *northern* lineage is likely to have a more fragmented structure compared to today. This indicates that the *northern* lineage is highly sensitive to the intensity of climate change. Thus, it can be predicted that the number of suitable habitats and local populations will decrease in the next 50 years. While the distribution of the *southern* lineage with the MIROC model is very similar to the present distribution, the CCSM model points to a different result. The CCSM model predicts a range of expansion in Macedonia and southern Greece compared to the present period. This means that the *southern* lineage is likely to be more resilient to climate change compared to the *northern* lineage, but its population trend should constantly be monitored and conservation measures should not be neglected. Therefore, it can be suggested that the conservation programs and action plans for the *northern* lineage are more urgent and of greater importance.

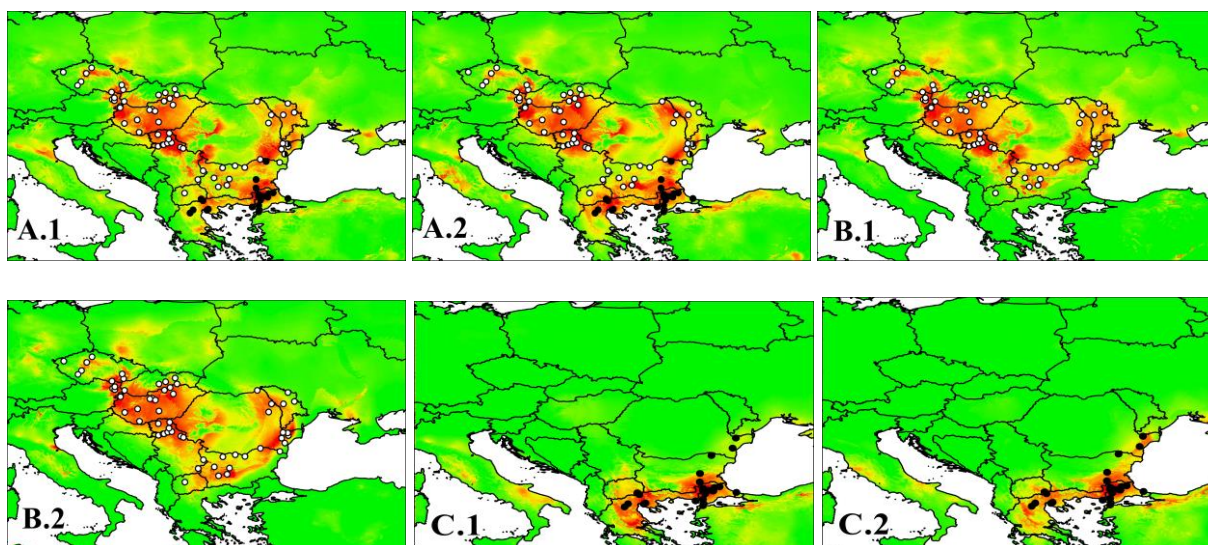


Figure 4. The MaxEnt modeling prediction for the future period (A1. combined data with CCSM model, A2. combined data with MIROC model, B1. *northern* lineage with CCSM model, B2. *northern* lineage with MIROC model, C1. *southern* lineage with CCSM model, C2. *southern* lineage with MIROC model)

4. Conclusion

This study estimated the habitat suitability and potential distribution probability of *S. citellus* in central Europe and the Balkans using the Maximum Entropy Model. MaxEnt fully described the observed present distribution of the European ground squirrel. Accordingly, it predicted which bioclimatic variables were more significant in the geographic distribution of both lineages belonging to the species. Furthermore, this study forecasted the past and future distribution patterns of the two lineages.

The continued survival of the European ground squirrel requires the evaluation of the species as a whole rather than as local populations. The performance of ongoing or completed reinforcement and reintroduction studies (Balaz, Jancova, & Ambros, 2008; Matějů et al., 2010; 2012; Gedeon et al., 2011; 2012; Löbbová & Hapl, 2014; Koshev et al., 2019) in European countries is closely linked to climatic change, therefore, the evaluation of climate change scenarios in relation to the potential distribution range of the species will allow researchers to develop possible strategies to increase conservation success. The results of this study indicate that suitable habitats for the two lineages will cover a narrower area compared to the present estimates, so, the regions where introduction and reintroduction studies will be done should not be selected randomly. Moreover, these assessments can be used for management strategies, conservation projects and species action plans.

Acknowledgement

No financial support was received from any institution or organization in this study.

Author Contributions

Performed statistical analysis and wrote the paper.

Conflicts of Interest

The author has no conflict of interest.

References

- Balaz, I., Jancova, A., & Ambros, M. (2008). Restitution of the European ground squirrel (*Spermophilus citellus*) in Slovakia. *Lynx* (Praha), NS 39, 235–240. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/288338501>
- Baltag, E.Ş., Zaharia, G., Fasolă, L., & Constantin, I. (2014). European Ground Squirrel (Mammalia: Rodentia) population from Eastern Romania: density, distribution and threats. *European Scientific Journal*, 94–101. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/271844575>
- Barkaszi, Z., & Zagorodniuk, I. (2018). Living on the edge: distribution patterns of steppe mammals in Transcarpathia (Ukraine). *Studia Biologica*, 12, 75–94. <https://doi.org/10.30970/sbi.1203.573>
- Benda, P. & Ivanova, T. (2003). Long-eared bats, Genus *Plecotus* (Mammalia: Chiroptera), in Bulgaria: a revision of systematic and distributional status. *Bulletin of the Natural History Museum*, 172, 157–172. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/228492914>
- Birks, H.J.B., & Willis K.J. (2008). Alpines, trees, and refugia in Europe. *Plant Ecology & Diversity*, 1, 147–160. <https://doi.org/10.1080/17550870802349146>
- Brown, J.L. (2014). SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic, and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7), 694–700. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12200>
- Brown, J.L., Bennett, J.R., & French, C.M. (2017). SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic, and species distribution model analyses. *PeerJ*, 5:e4095.

- Coroiu, C., Kryštufek, B., Vohralík, V., & Zagorodnyuk, I. (2008). *Spermophilus citellus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2008: e.T20472A92 4055. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T20472A9204055.en>. Downloaded on 17 October 2019.
- Diakou, A. Kapantaidakis, E., & Youlatos, D. (2015). Endoparasites of the European ground squirrel (*Spermophilus citellus*) (Rodentia: Sciuridae) in central Macedonia, Greece. *Journal of Natural History*, 49(5-8), 359–370. <https://doi.org/10.1080/00222933.2013.825025>
- Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchman, C., Carl, G., Carré, G., García Marquéz, J.R., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P.J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P.E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A.K., Zurell, D., & Lautenbach S. (2013). Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36, 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A. T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S., & Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., & Yates, C.J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Engler, R., Guisan, A., & Rechsteiner, L. (2004). An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 41, 263–274. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00881.x>
- Feng, X., Park, D.S., Liang, Y., Pandey, R., & Papeş, M. (2019). Collinearity in ecological niche modeling: Confusions and challenges. *Ecology and Evolution*, 9(18), 10365–10376. <https://doi.org/10.1002/ece3.5555>
- Fortelius, M. (2011). Neogene of the Old World Database of Fossil Mammals. University of Helsinki. Retrieved from: <https://researchportal.helsinki.fi/en/equipments/now-new-and-old-worlds-fossil-mammal-database>
- Fourcade, Y., Engler, J.O., Rödder, D., & Secondi, J. (2014). Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias. *PloS One*, 9(5), e97122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097122>
- Gedeon, C.I., Váczi, O., Koósz, B., & Altbäcker, V. (2011). Morning release into artificial burrows with retention caps facilitates success of European ground squirrel (*Spermophilus citellus*) translocations. *European Journal of Wildlife Research*, 57(5), 1101–1105. <https://doi.org/10.1007/s10344-011-0504-3>
- Gedeon, C.I., Boross, G., Németh, A., & Altbäcker, V. (2012). Release site manipulation to favour European ground squirrel *Spermophilus citellus* translocations: translocation and habitat manipulation. *Wildlife Biology*, 18(1), 97–104. <https://doi.org/10.2981/10-124>
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J.B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P.R., Tulloch, A.I., Regan, T.J., Brotons, L., McDonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T.G., Rhodes, J.R., Maggini, R., Setterfield, S.A., Elith, J., Schwartz M.W., Wintle, B.A., Broennimann, O., Austin M., Ferrier, S., Kearney, M.R., Possingham, H.P., & Buckley, Y.M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16(12), 1424–1435. <https://doi.org/10.1111/ele.12189>
- Gündüz, İ., Jaarola, M., Tez, C., Yenyurt, C., Polly, P.D., & Searle, J.B. (2007). Multigenic and morphometric differentiation of ground squirrels (*Spermophilus*, Sciuridae, Rodentia) in Turkey, with a description of a new species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43, 916–935. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.02.021>

- Gür, H. (2013). The effects of the late Quaternary glacial-interglacial cycles on Anatolian ground squirrels: range expansion during the glacial periods. *Biological Journal of the Linnean Society*, 109, 19–32. <https://doi.org/10.1111/bij.12026>
- Gür, H., Perktaş, U., & Gür, M.K. (2017). Do climate-driven altitudinal range shifts explain the intraspecific diversification of a narrow ranging montane mammal, Taurus ground squirrels? *Mammal Research*, 63(2), 197–211. <https://doi.org/10.1007/s13364-017-0347-8>
- Haberl, W., Kryštufek, B. & Hoffmann, I.E. (2012). Distribution and assessment of endangered European ground squirrel (*Spermophilus citellus gradojevici*) populations in south-eastern Macedonia (FYROM). 3rd European Congress of Conservation Biology, Glasgow, Scotland. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/323322689>
- Hanley, J.A., & McNeil, B.J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 143, 29–36. <https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747>
- Harrison, R.G., Bogdanowicz, S.M., Hoffmann, R.S., Yensen, E., Sherman, P.W. (2003). Phylogeny and evolutionary history of the ground squirrel (Rodentia: Marmotinae). *Journal of Mammalian Evolution*, 10, 249–276. <https://doi.org/10.1023/B:JOMM.0000015105.96065.f0>
- Hewitt, G. (2000). The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature*, 405(6789), 907–913. <https://doi.org/10.1038/35016000>
- Hewitt, G.M. (1996). Some genetic consequences of ice ages, and their role in divergence and speciation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 58, 247–276. <https://doi.org/10.1006/bijl.1996.0035>
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., & Albert, D.L. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978. <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1276>
- Hijmans, R.J., & Graham, C.H. (2006). Testing the ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12, 2272–2281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x>
- Hoffmann, I.E., Millesi, E., Huber, S., Everts, L.G., Dittami, J. P. (2003). Population Dynamics of European Ground Squirrels (*Spermophilus citellus*) in a Suburban Area. *Journal of Mammalogy*, 84(2), 615–626. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2003\)084<0615:PDOEGS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2003)084<0615:PDOEGS>2.0.CO;2)
- Hoffmann, I.E., Turrini, T., & Brenner, M. (2008). Do European ground squirrels in Austria adjust their life history to anthropogenic influence? *Lynx (Praha)*, 39(2), 241–250. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/259475994>
- Hulová, Š., & Sedláček, F. (2008). Population genetic structure of the European ground squirrel in the Czech Republic. *Conservation Genetics*, 9, 615–625. <https://doi.org/10.1007/s10592-007-9378-z>
- Janák, M., Marhoul, P., & Matějů, J. (2013). Action Plan for the Conservation of the European Ground Squirrel *Spermophilus citellus* in the European Union. Retrieved from: https://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/action_plans
- Janderková, J., Matějů, J., Schnitzerová, P., Petruš, J., Sedláček, J., & Uhlíková, J. (2011). Soil characteristics at *Spermophilus citellus* localities in the Czech Republic (Rodentia, Sciuridae). *Lynx*, 42, 99–111. Retrieved from: https://publikace.nm.cz/file/722e0fe453a88e35d055598c2b0f6c48/16927/99-111_Janderkov%C3%A1.pdf
- Katona, K., Váczi, O., & Altbäcker V. (2002). Topographic distribution and daily activity of the European ground squirrel population in Bugacpuszta, Hungary. *Acta Theriologica*, 47(1), 45–54. <https://doi.org/10.1007/BF03193565>
- Koshev, Y.S. (2009). Distribution, isolation and recent status of European ground squirrel (*Spermophilus citellus* L.) in Pazardzhik district, Bulgaria. Annual of Shumen University “Konstantin Preslavsky”, Faculty of Natural Sciences, Vol. XIX B6: 97-109. ISSN: 1311-834X. <https://www.researchgate.net/publication/258452659>

- Koshev, Y.S., Kachamakova, M., Arangelov, S., & Ragyov, D. (2019). Translocations of European ground squirrel (*Spermophilus citellus*) along altitudinal gradient in Bulgaria – an overview. *Nature Conservation*, 35, 63–95. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.35.30911>
- Kryštufek, B. (1999). *Spermophilus citellus* (Linnaeus, 1766). 190-191 pp. In the atlas of European mammals (Mitchell-Jones A. J.ed.). Academic Press London, United Kingdom.
- Kryštufek, B., & Vohralík, V. (2005). Mammals of Turkey and Cyprus, Vol. 2: Rodentia I: Sciuridae, Dipodidae, Gliridae, Arvicolinae, Annales Majora Koper, Slovenia.
- Kryštufek, B., Bryja, J., & Buzan, E.V. (2009). Mitochondrial phylogeography of the European ground squirrel, *Spermophilus citellus*, yields evidence on refugia for steppic taxa in the southern Balkans. *Heredity*, 103, 129–135. <https://doi.org/10.1038/hdy.2009.41>
- Kryštufek, B., Nedyalkov, Nedko., Astrin, J.J., & Hutterer, R. (2018). News from the Balkan refugium: Thrace has an endemic mole species (Mammalia: Talpidae). *Bonn Zoological Bulletin*, 67(1), 41–57. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/328019990>
- Kurten, B. (1968). Pleistocene Mammals of Europe. Weidenfeld & Nicolson, London.
- Ramos-Lara, N., Koprowski, J.L., Kryštufek, B., Hoffmann, I.E. (2014). *Spermophilus citellus* (Rodentia: Sciuridae). *Mammalian Species*, 46(913), 71–87. <https://doi.org/10.1644/913.1>
- Löbbová, D., & Hapl, E. (2014). Conservation of European ground squirrel (Mammalia: Rodentia) in Slovakia: Results of current reintroduction programme. *Slovak Raptor Journal*, 8, 105–112. <https://doi.org/10.2478/srj-2014-0012>
- Luoto, M., Pöyry, J., Heikkinen, R.K., & Saarinen, K. (2005). Uncertainty of bioclimate envelope models based on geographical distribution of species. *Global Ecology and Biogeography*, 14, 575–84. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2005.00186.x>
- Matěju, J., Nová, P., Uhlíková, J., Hulová, Š., & Cepáková, E., (2008). Distribution of the European ground squirrel (*Spermophilus citellus*) in the Czech Republic in 2002–2008. *Lynx*, 39, 277–294. Retrieved from: <https://publikace.nm.cz/file/128af2d7b6eae61b13dec15d7a2b9ec2/16133/Mat%C4%9Bj%C5%AF2008lynx2.pdf>
- Matěju, J., Hulová, Š., Nová, P., Cepáková, E., Marhoul, P., & Uhlíková, J. (2010). Action plan for the European Ground Squirrel (*Spermophilus citellus*) in the Czech Republic. Charles University and Agency for Nature and Landscape Protection of the Czech Republic, Prague. Retrieved from: https://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/action_plans
- Matěju, J., Řičanová, Š., Poláková, S., Ambros, M., Kala, B., Matěju, K., & Kratochvíl L. (2012). Method of releasing and number of animals are determinants for the success of European ground squirrel (*Spermophilus citellus*) reintroductions. *European Journal of Wildlife Research*, 58(2), 473–482. <https://doi.org/10.1007/s10344-011-0597-8>
- Mráz, P., & Ronikier, M. (2016). Biogeography of the Carpathians: evolutionary and spatial facets of biodiversity. *Biological Journal of the Linnean Society*, 119, 528–559. <https://doi.org/10.1111/bij.12918>
- Musil, R. (1985). Paleobiography of terrestrial communities in Europe during the last glacial. *Acta Musei Nationalis Pragae XLI B*, no. 1-2: 25–56. Retrieved from: <http://fi.nm.cz/en/archive/>
- Pearson, R.G., Thuiller, W., Araújo, M.B., Martinez-Meyer, E., Brotons, L., Mcclean, C., Miles, L., Segurado, P., Dawson, T.P., & Lees, D.C. (2006). Model based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33, 1704–1711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01460.x>
- Peltier, W.R. (1994). Ice Age Paleotopography. *Science* 265(5169), 195–201. <https://doi.org/10.1126/science.265.5169.195> <https://doi.org/10.1038/416626a>
- Peterson, A.T., Ortega-Huerta, M.A., Bartley, J., Sanchez-Cordero, V., Soberon, J., Buddemeier, R.H., & Stockwell, D.R. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, 416(6881), 626–629. <https://doi.org/10.1038/416626a>
- Petrova, A., & Vladimirov, V. (2010). Balkan endemics in the Bulgarian flora. *Phytologia Balcanica*, 16(2), 293–311. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/268180051>

- Phillips, S.J., Dudík, M., & Schapire, R.E. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning. New York, NY: ACM Press, 655–662. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/221345128>
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S.J., Dudík, M., & Schapire, R.E. (2017a). MaxEnt software for modeling species niches and distributions. Version 3.4.1. Available from: https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Dudík, M., Schapire, R.E., & Blair, M.E. (2017b). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887–893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Pollard, D., & Thompson, S.L. (1997). Climate and ice-sheet mass balance at the last glacial maximum from the GENESIS version 2 global climate model. *Quaternary Science Reviews*, 16, 841–863. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(96\)00115-1](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(96)00115-1)
- Popova, L.V., Maul, L.C., Zagorodniuk, I.V., Veklych, Y.M., Shydlovskiy, P.S., Pogodina, N.V., Bondar K.M., Strukova, T.V., & Parfitt, S.A. (2019). Good fences make good neighbours’: Concepts and records of range dynamics in ground squirrels and geographical barriers in the Pleistocene of the Circum Black Sea area. *Quaternary International*, 509, 103–120. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.023>
- O’Donnell, M.S., & Ignizio, D.A. (2012). Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States: U.S. Geological Survey Data Series 691, 10. Available from: <https://pubs.usgs.gov/ds/691>
- Qiao, H., Escobar, L.E., & Peterson, T. (2017). Accessible areas in ecological niche comparisons of invasive species: Recognized but still overlooked. *Scientific Reports*, 7(1), 1213. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01313-2>
- Özkurt, Ş., Yiğit, N., Çolak, E., Sözen, M., Gharakheloo M.M. (2005). Observations on the ecology, reproduction and behavior of *Spermophilus Bennett*, 1835 (Mammalia: Rodentia) in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 29(1), 91–99. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/260081812>
- Řičanová, S., Bryja, J., Cosson, J.F., Gedeon, C., Choleva, L., Ambros, M., & Sedláček, F. (2011). Depleted genetic variation of the European ground squirrel in Central Europe in both microsatellites and the major histocompatibility complex gene: implication for conservation. *Conservation Genetics*, 12, 1115–1129. <https://doi.org/10.1007/s10592-011-0213-1>
- Řičanová, Š., Koshev, Y., Řičan, O., Ćosić, N., Ćirović, D., Sedláček, F., & Bryja, J. (2013). Multilocus phylogeography of the European ground squirrel: cryptic interglacial refugia of continental climate in Europe. *Molecular Ecology*, 22(16), 4256–4269. <https://doi.org/10.1111/mec.12382>
- Santel, W., von Koenigswald, W. (1998). Preliminary report on the middle Pleistocene small mammal fauna from Yarimburgaz Cave in Turkish Thrace. *Eiszeitalter & Gegenwart*, 48, 162–169. <https://doi.org/10.3285/eg.48.1.14,199810.3390/genes8110292>
- Savić, I., Ćirović, D., & Bugarski-Stanojević, V. (2017). Exceptional Chromosomal Evolution and Cryptic Speciation of Blind Mole Rats *Nannospalax leucodon* (Spalacinae, Rodentia) from South-Eastern Europe. *Genes*, 8(11), 292. <https://doi.org/10.3390/genes8110292>
- Stewart, J.R., & Lister, A. M. (2001). Cryptic northern refugia and the origins of the modern biota. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(11), 608–613. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02338-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02338-2)
- Stewart, J.R., Lister, A.M., Barnes, I., & Dalén, L. (2010). Refugia revisited: individualistic responses of species in space and time. *Proceedings Biological Sciences*, 277(1682), 661–671. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1272>
- Stojak, J., & Tarnowska, E. (2019). Polish suture zone as the goblet of truth in post-glacial history of mammals in Europe. *Mammalian Research*, 64, 463–475. <https://doi.org/10.1007/s13364-019-00433-6>
- Stojak, J., Borowik, T., Górny, M., McDevitt, A.D., & Wójcik J.M. (2019). Climatic influences on the genetic structure and distribution of the common vole and field vole in Europe. *Mammal Research*, 64, 19–29. <https://doi.org/10.1007/s13364-018-0395-8>

- Swets, J. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285–1293. <https://doi.org/10.1126/science.3287615>
- Tiryaki, D. (2015). *Türkiye Spermophilus Cuvier, 1825 (Mammalia: Rodentia) türlerinin filocoğrafyası, filogenisi ve soy hattı sınırlarının detaylı incelenmesi*, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun, Turkey. Retrieved from: <http://libra.omu.edu.tr/tezler/87349.pdf>
- Tzvetkov, J., & Koshev, Y. (2016). GIS habitat model of potential distribution of European ground squirrel (*Spermophilus citellus*) in Bulgaria. Belgrade, Serbia, 6th European Ground Squirrel Meeting. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26177.97124>
- Váczi, O., & Altbäcker, V. (1999). Fűves repülőterek ürgeállományának felmérése. *Természetvédelmi Közlemények*, 8, 205–214. Retrieved from: https://adtplus.arcanum.hu/hu/view/TermeszvetvedelmiKozlemenyek_08
- Valchovski, H., & Mısırlıoğlu İ.M. (2017). Review of earthworm (Clitellata: Lumbricidae, Criodrilidae, Acanthodrilidae) biodiversity of thrace in Bulgaria, Turkey and Greece. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(6), 1325–1330. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.306021>
- Van Horne, B. (2003). Conservation of ground squirrels. In: Wolff JO, Sherman PW, eds. *Rodent societies: an ecological and evolutionary perspective*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 463–471.
- Wilson, D.E., & Reeder, D.M. (2005). *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference*. 3rd ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Wisn, M.S., Hijmans, R.J., Li, J., Peterson, A.T., Graham, C.H., & Guisan, A. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14(5), 763–773. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>
- Youlatos, D., Boutsis Y., Pantis, J.D. & Hadjicharalambous, H. (2007). Activity patterns of European ground squirrels (*Spermophilus citellus*) in a cultivated field in northern Greece. *Mammalia*, 71(4), 183–186. <https://doi.org/10.1515/MAMM.2007.030>
- Zaharia, G., Petrencu, L., & Baltag E.S. (2016). Site selection of European ground squirrels (*Spermophilus citellus*) in Eastern Romania and how they are influenced by climate, relief, and vegetation. *Turkish Journal of Zoology*, 40, 917–924. <https://doi.org/10.3906/zoo-1505-28>

SUPPLEMENTARY MATERIAL

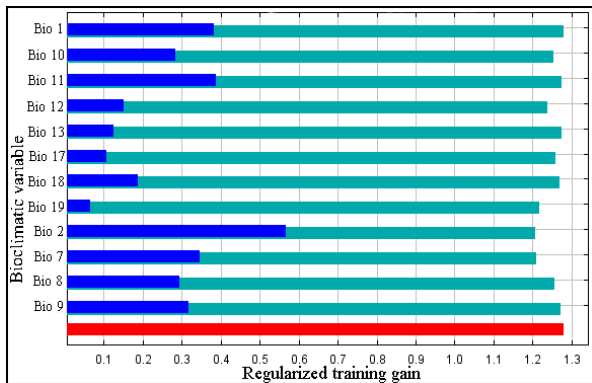


Figure S1. The results of Jackknife test for combined data. Red bar: all environmental variables, light blue bars: each predictor variable alone, and teal blue bars: the variable is removed from the full model

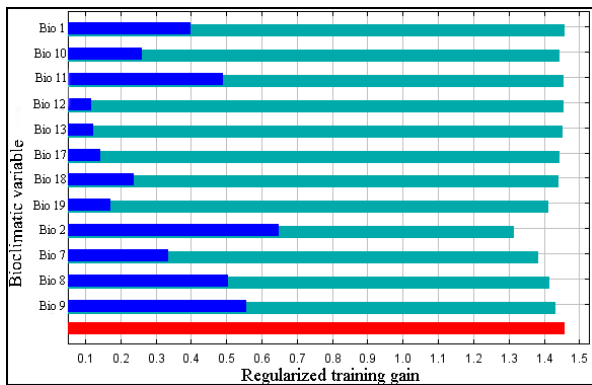


Figure S2. The results of Jackknife test for *northern* lineage. Red bar: all environmental variables, light blue bars: each predictor variable alone, and teal blue bars: the variable is removed from the full model

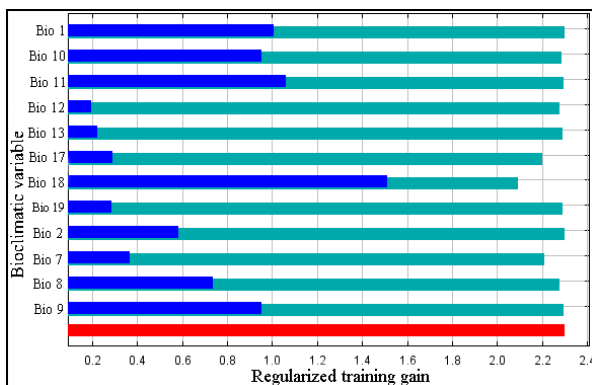


Figure S3. The results of Jackknife test for *southern* lineage. Red bar: all environmental variables, light blue bars: each predictor variable alone, and teal blue bars: the variable is removed from the full model

Reduction Behavior of Olanzapine and Its Differential Pulse Voltammetric Determination in Human Urine and Pharmaceuticals

Sultan Yağmur Kabaş^{1*}

¹Department of Chemistry and Chemical Processing Technology Programs, Lapseki Vocational School, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 27.02.2020

Accepted: 06.11.2020

Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – The electrochemical reduction behavior of olanzapine was investigated by DPV (differential pulse voltammetry) and CV (cyclic voltammetry) techniques using a glassy carbon electrode. The measurements were carried out in different buffer solutions in a pH range from 0.50 to 12.05. The behavior of the peak potential and the peak current were examined by changing the pH, and a pH= 7.0 Britton-Robinson buffer solution was selected as the supporting electrolyte. To designate the electron and proton numbers that participated in the reaction, the changing peak potentials of olanzapine with increasing pH were investigated. The number of transferred electrons was found equal to the number of the hydrogen ions taking part in the electrode reaction. Equal electron and proton numbers were also supported with suggested reduction mechanism. For DPV analysis, the linear calibration curve of olanzapine was plotted between concentrations $2 \times 10^{-5} \text{M}$ and $1 \times 10^{-4} \text{M}$ at the pH= 7.0 Britton-Robinson buffer solution. The limit of detection (LOD) and the limit of quantification (LOQ) were found to be $1.88 \times 10^{-6} \text{M}$ and $6.29 \times 10^{-6} \text{M}$, respectively. Lastly, the developed technique was applied to spiked urine and pharmaceutical preparations for recovery studies of olanzapine. A reaction mechanism related to the reduction of olanzapine was also proposed with this study.

Keywords – Human urin, olanzapine, pharmaceutical preparation, reduction, voltammetry

1. Introduction

Olanzapine (Figure 1) is a drug with antipsychotic effects that is used to treat mainly schizophrenia and bipolar disorder (manic depressive disorder) in adults and teenagers. It treats the patients by changing the activity of certain natural substances in their brain (Medline Plus).

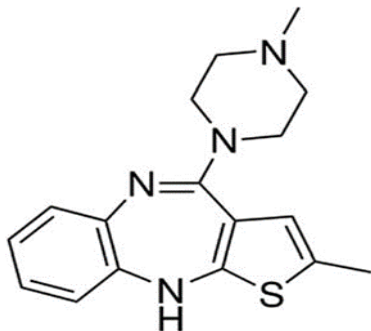


Figure 1. Chemical structure of olanzapine

¹  <https://orcid.org/0000-0002-2329-2451> sultan.yagmur@hotmail.com

*Corresponding Author

In the literature, for the determination of olanzapine in biological samples and tablets, different techniques have been reported such as the optimized UPLC-MS/MS method (Du et al., 2019), the gas chromatography / tandem mass spectrometry method (Rosado et al., 2018), the validated HPLC method (Karaca & Yeniceli, 2018), calorimetry (Adegoke et al., 2016), LC-MS/MS (Bonde et al., 2014), field-amplified sample injection coupled with the pseudo-isotachopheresis technique (Dziomba et al., 2014), GC-nitrogen phosphorus detection (Samanidou et al., 2013), HPLC-MS/MS coupled with column-switching technique (Zheng et al., 2012), UV spectrophotometry (Firdous et al., 2005), flow injection spectrophotometry (Jasinska & Nalewajko, 2004), tandem mass spectrometry (Berna et al., 2002), capillary zone electrophoresis (Pucci et al., 1999), and high performance liquid chromatography (Kasper et al., 1999). However, pre-treatment samples for these reported methods require a long time, and the equipment and reagents are expensive and thus are not useful for routine analysis. But with low-cost, high sensitivity and accuracy, and direct and fast practicality, voltammetry is an appropriate analytical technique for practical analysis. There are also electroanalytical techniques such as potentiometry (Rouhani & Soleymanpour, 2019), amperometry with HPLC (Raggi et al., 2000), and voltammetry. Voltammetric methods are used for the determination of many antipsychotics including olanzapine (Karadurmus et al., 2019; Kul, 2019), the oxidative behavior of olanzapine with modified electrodes (Azab & Amany, 2019; Behzad et al., 2016; Ahmed et al., 2015; Shahrokhian et al., 2014; El Shal, 2013; Mashhadizadeh & Afshar, 2012; Merli et al., 2012), and the oxidative behavior of olanzapine on a glassy carbon electrode (Yilmaz et al., 2017; Biryol & Erk, 2013). However, an electroreduction study of olanzapine has not yet been reported.

The aim of the study was to research the properties of the reduction process of olanzapine by glassy carbon electrode for the first time and detect olanzapine in tablets and urine. In this method, CV and DPV techniques were used, and there were no time-consuming processes such as plating and cleaning of the electrode. For this reason, our method is fast and easy, and it is the first electroreduction technique for olanzapine. The developed technique was applied to spiked urine and pharmaceutical preparations for recovery studies of olanzapine. In addition, a reaction mechanism related to the reduction of olanzapine was also proposed for the first time with this study.

2. Materials and Methods

2.1. Apparatus

The pH values of each solution were measured by a Metrohm 744 pH meter instrument at about 20 °C temperature. Deionized water was supplied by Sartorius Ultra-Pure Water Systems.

Voltammetric measurements were taken by a Metrohm 757 VA Trace Analyzer instrument which has three electrodes. In this system, a glassy carbon electrode was used as the working electrode, platinum wire was used as the auxiliary electrode, and Ag/AgCl (KCl 3 mol/L) was used as reference electrode. Before each measurement, the GCE surface was polished with Al₂O₃ (aluminum oxide, 0.01 μm). After that, it was rinsed first with deionized water and then with ethanol. Before the measurements, Ar gas was crossed over the supporting electrolytes for about five minutes, and, after sample additions, Ar gas was crossed over the voltammetric cell for about one minute.

For the analytical application, the following parameters were employed: for DPV analysis, a pulse amplitude of 50 mV, a pulse time of 0.04 s, a voltage step of 0.009 V, a voltage step time of 0.04, a potential step of 10 mV; and, for CV analysis, a scan rate in the range of 10-1000 mVs⁻¹.

2.2. Reagents

Our drug agent olanzapine and its tablet form Rexapin (One Rexapin tablet contains 10 mg of olanzapine) were supplied by the Abdi İbrahim Drug Company. A stock solution of olanzapine (1.0x10⁻² M) was prepared

daily with deionized water containing 20 μL HNO_3 in a 10 mL solution. Diluted solutions of olanzapine were prepared with deionized water from a stock solution. To avoid decomposition, all solutions were used within 24 hours and were protected from light.

An acetate buffer (pH 3.55-5.55), a phosphate buffer (pH 4.50-7.50), a Britton Robinson buffer (pH 2.03-12.05), and a 0.5 M H_2SO_4 solution (pH 0.55) were used as supporting electrolytes in the experiments.

2.3. Quantitative Analysis of Olanzapine

Diluted olanzapine solutions were prepared from a stock olanzapine solution with deionized water. For the best results in the experimental section, a calibration graph was created in the concentration range of 2×10^{-5} M - 1×10^{-4} M linearly with the DPV technique. The accuracy, precision, and repeatability parameters of the measurements were checked.

2.4. Voltammetric Analysis of Olanzapine in Spiked Tablet Form

Ten Rexapin tablets were weighed and crushed. An adequate amount was taken for a 1×10^{-2} M stock Rexapin solution and dissolved in deionized water in a 10 mL-calibrated flask. For complete dissolution, the flask was centrifuged at 4000 rpm for 20 min. Diluted Rexapin solutions were prepared from stock a Rexapin solution with deionized water. By comparing obtained regression equations and plotted calibration plots, the quantity of olanzapine in pharmaceuticals was calculated.

2.5. Voltammetric Analysis of Olanzapine in Spiked Human Urine

Urine analysis was performed by the standard addition method (Yagmur et al., 2018; Nosal-Wiercińska et al., 2014; Sadikoglu et al., 2011) For this purpose, urine was supplied daily from a volunteer not taking any medication and was diluted (1 mL urine + 9 mL deionized water). The voltammogram was recorded at pH=7.0 in 0.04 M BR buffer (9.4 mL) (blank). After adding a diluted urine solution (0.6 mL) to the blank, the voltammogram was also measured (blank for urine). For a 4×10^{-5} M cell concentration, a 40 μL sample (1×10^{-2} M olanzapine stock solution of 1 mL / 8 mL deionized water/1 mL urine) was added and measured. The 1×10^{-2} M olanzapine (20 μL) standard solution was added and measured three times. The urine calibration curve was plotted according to these measurement results.

3. Results and Discussion

3.1. Electrochemical Reduction Behavior of Olanzapine

The best shaped and the highest peak current was observed at pH 7.00 in 0.04 M BR buffer. Therefore, this pH and this type of buffer solution were chosen for the electroanalytical studies (Figure 2). Consequently, the DP voltammetric technique and the BR buffer (pH 7.00) were chosen for further work. The voltammetric results were found to be pH dependent.

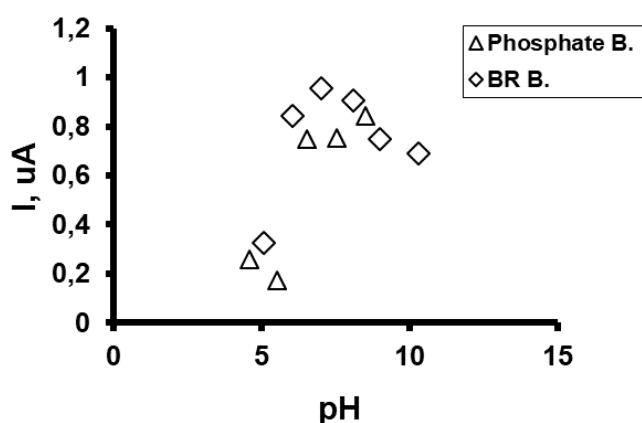


Figure 2. Changing peak currents of $5 \times 10^{-5} \text{ M}$ olanzapine with increasing pH for the DPV technique in different buffer solutions

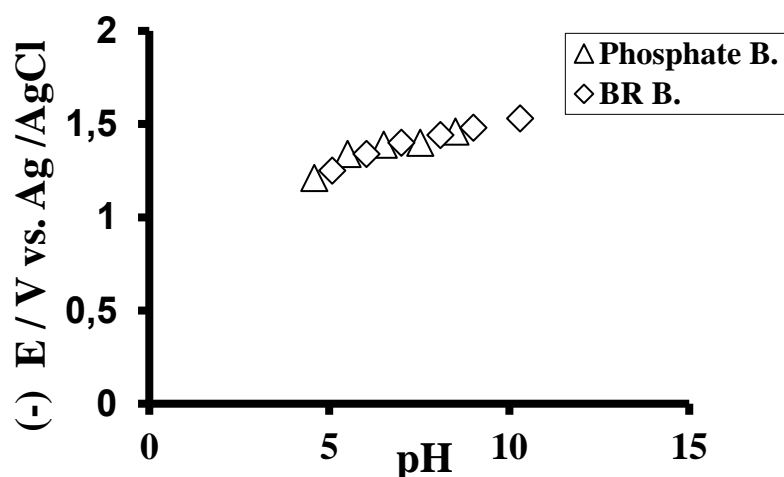


Figure 3. Changing peak potentials of $5 \times 10^{-5} \text{ M}$ olanzapine with increasing pH with the DPV technique in different buffer solutions

To designate the electron and proton numbers that participated in the reaction, the changing peak potentials of olanzapine with increasing pH were investigated. As the pH values of solutions increased, peak potential values shifted to more negative regions (Figure 3), showed that there was a proton transfer participation in the electrode reaction (Yilmaz, 2016).

The relation between E_{p_k} and pH may be seen below:

$$E_{p_k} (\text{mV}) = a \times \text{pH} + b;$$

E_{p_k} : cathodic peak potential, a = slope, x = pH, b = intercept.

When the peak potential values were plotted versus concentrations, a linear graphic was obtained. By using this graphic, a 52 mV / pH ($r = 0.99$) slope was found, and it was closer to the theoretical value of 59 mV / pH (Nernst value). It also indicated that the number of transferred electrons was equal to the number of the hydrogen ions taking part in the electrode reaction (Yilmaz, 2016; Can et al., 2015). Equal electron and proton numbers were also supported as two (Rodrigo & Waldvoege, 2019) at the suggested reduction mechanism (Figure 8).

The influence of the scan rate on the peak current and the peak potential of olanzapine were investigated. The cyclic voltammograms for olanzapine at different scan rates in 0.04 M BR buffer (pH 7.00) are given in Figure 4.

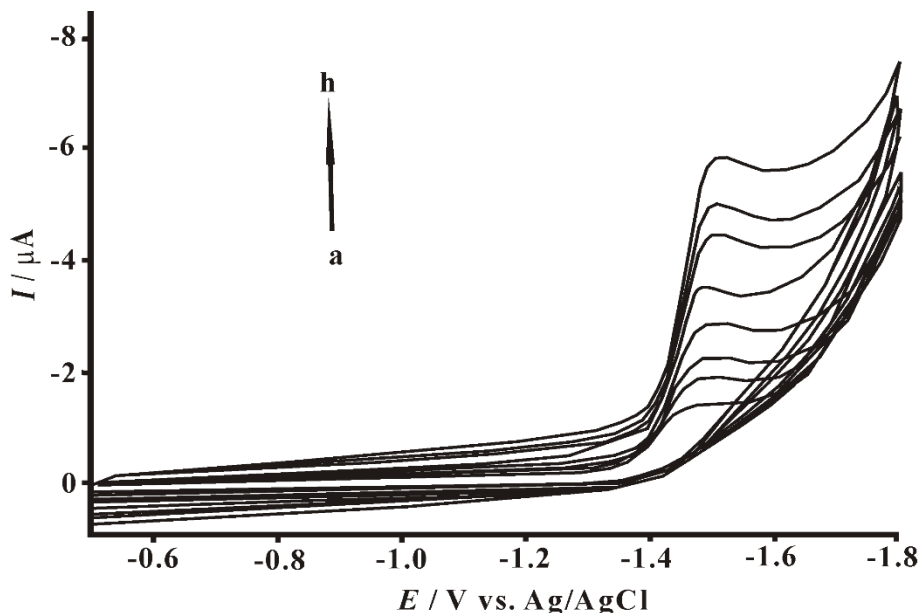


Figure 4. 1×10^{-4} M olanzapine cyclic voltammograms in 0.04 M BR buffer (pH 7.00). Scan rate (mV s^{-1}) a) 50 b) 100 c) 150 d) 250 e) 400 f) 600 g) 750 h) 1000

Because the correlation coefficient of $I_p / \mu\text{A} = 0.0936v^{1/2} - 0.1596$ equation was 0.999 and the slope of (logarithm of peak current-logarithm of scan rate) was approximately 0.5 (0.5838), the reduction process was determined to be diffusion-controlled (Yagmur et al., 2018; Engin et al., 2015; Citak et al., 2007). One cathodic peak with no reverse was seen in the cyclic voltammograms of olanzapine, and as the scan rate increased, more negative peak potentials were seen. This indicated an irreversible electrode reaction

3.2. Validation and Analytical Studies of the Suggested Voltammetric Technique

According to the optimized experimental conditions, a linear relationship was found in the range 2×10^{-5} M - 1×10^{-4} M between the peak current and the concentration of olanzapine (Figure 5).

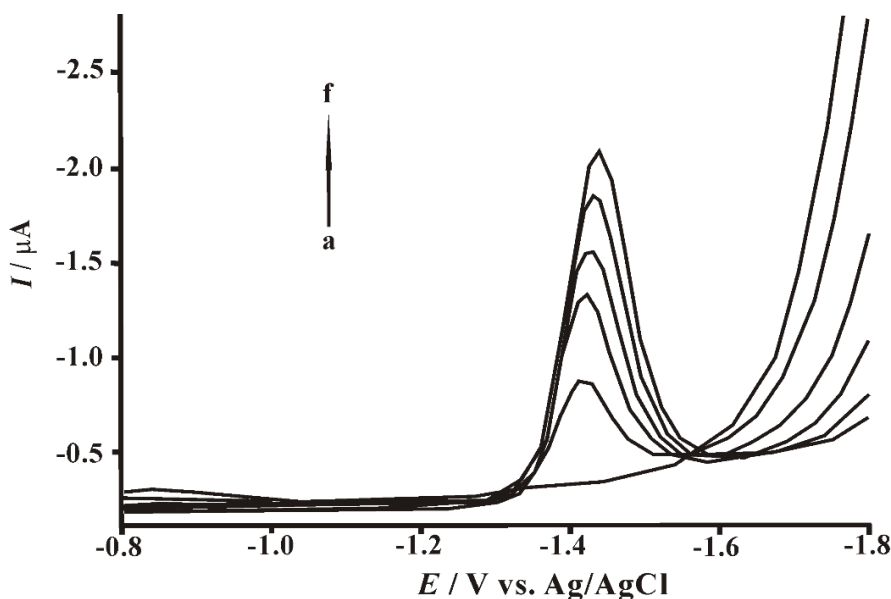


Figure 5. Voltammograms of different concentrations of olanzapine in 0.04 M BR buffer (pH 7.00) by DPV technique a) blank b) 2×10^{-5} c) 4×10^{-5} d) 6×10^{-5} e) 8×10^{-5} f) 1×10^{-4} M.

When the current values obtained from the voltammograms in Figure 5 were plotted versus concentrations in the graph, a linear graphic was obtained (Figure 6).

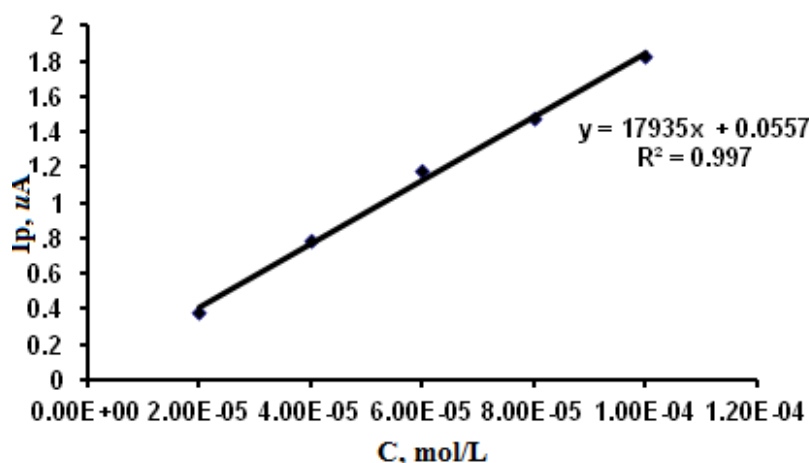


Figure 6. Calibration plot for olanzapine

The equation of the linear calibration graph was found to be $I_p/\mu\text{A} = 17935 (\mu\text{A}/\text{M}) + 0.055$, and the correlation coefficient (r) was 0.998 for 10 measurements. The SD of the slope and the SD of the intercept are given. For the quantitative detection of olanzapine, the LOD (limit of detection; $3s/m$) and the LOQ (limit of quantification; $10 s/m$) were calculated (s is the standard deviation of the peak current for five runs, and m is the slope of the calibration curve) (Yilmaz et al., 2013; Engin et al., 2015; Yagmur et al., 2018). For the validation procedure, repeatability and reproducibility of the peak current and the peak potential were examined. Calculated parameters are given in Table 1.

Table 1

Analytical and validation parameters for olanzapine in BR buffer (pH 7.00) with DPV technique

Parameters	Results
Linear concentration range (M)	2×10^{-5} - 1×10^{-4}
Measured potential (V)	-1.4
Slope ($\mu\text{A}/\text{M}$)	17935
SD of slope	321
Intercept (nA)	0.055
SD of intercept	0.02
Correlation coefficient (r)	0.998
LOD (M)	1.88×10^{-6}
LOQ (M)	6.29×10^{-6}
Repeatability of peak current (% RSD)	1.05 for 8×10^{-5} M
Reproducibility of peak current (% RSD)	1.97 for 8×10^{-5} M
Repeatability of peak potential (% RSD)	0.505 for 8×10^{-5} M
Reproducibility of peak potential (% RSD)	0.71 for 8×10^{-5} M

3.3. Voltammetric Determination of Olanzapine in Pharmaceutical Preparations

The amount of olanzapine in Rexapin tablets was calculated according to the calibration curve for olanzapine. The recovery results for olanzapine from Rexapin tablets were recorded (Table 2).

Table 2

DPV Applications for olanzapine in pharmaceutical preparations

Parameters	Results
Spiked olanzapine (mg)	0.5
Found olanzapine (mg)	0.505
Average recovery (%)	101
Relative standard deviation (%),	2.80
Bias (%)	1
Labeled olanzapine (mg)	10
Found olanzapine (mg)	10.5
Relative Standard deviation (%)	1.24
Bias (%)	5
Number of measurements	5

According to the test, none of the excipients in the tablets had any effect on the analysis. In conclusion, olanzapine was found to be determined quantitatively in pharmaceutical preparations with no excipients.

3.4. Application to Human Urine Samples

For quantitative detection and recovery studies for olanzapine in spiked urine, the developed technique was applied to human urine samples by the standard addition method as in the experimental section (Yagmur et al., 2018; Nosal-Wiercińska et al., 2014; Sadikoglu et al., 2011). The voltammograms are given in Figure 7.

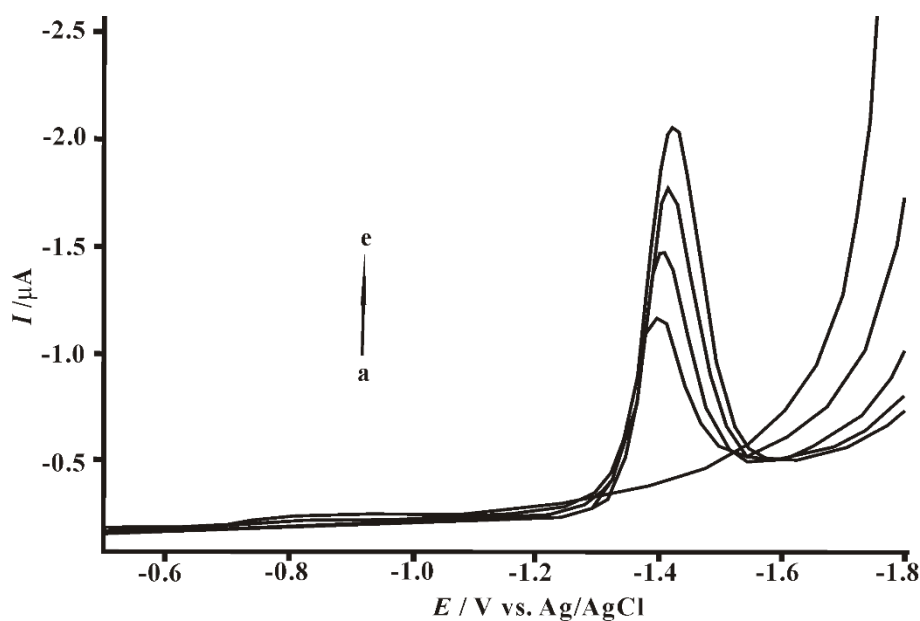


Figure 7. DP voltammograms of olanzapine in human urine; a) 0.04 M BR buffer (pH 7.00) Blank + 600 μ L Urine (1:9); b) 4×10^{-5} M Olanzapine with Urine; c) 2×10^{-5} M d) 4×10^{-5} M e) 6×10^{-5} M olanzapine

The voltammetric parameters for olanzapine in human urine are calculated as in Table 3.

Table 3

DPV applications and recovery studies for olanzapine in human urine samples

Parameters	Results
Olanzapine (Spiked, M)	4×10^{-5}
Olanzapine (Found, M)	4.12×10^{-5}
Average recovery (%)	103
RSD (%)	1.37
Bias (%)	3
Number of measurements	5

3.5. Suggested Reduction Mechanism for Olanzapine

Lastly, an electrochemical mechanism for the reduction of olanzapine was suggested (Figure 8). The possible mechanism is given below. As seen from the possible mechanism, after the imine double bond is reduced by two electrons, it is protonated, taking $2H^+$ to form the amine (Rodrigo & Waldvoe, 2019). The reduction reaction takes place in three steps. First, in the imine molecule, the C=N bond opens towards nitrogen, the carbon atom is positively charged, and the nitrogen atom is negatively charged. Then, the C atom acquires an electron and forms radical carbon. In the second stage, the radical carbon atom gets one more electron and becomes negatively charged. In the last step, the negatively charged N and C in the molecule take one H^+ , and the final product, amine (CH-NH), is formed.

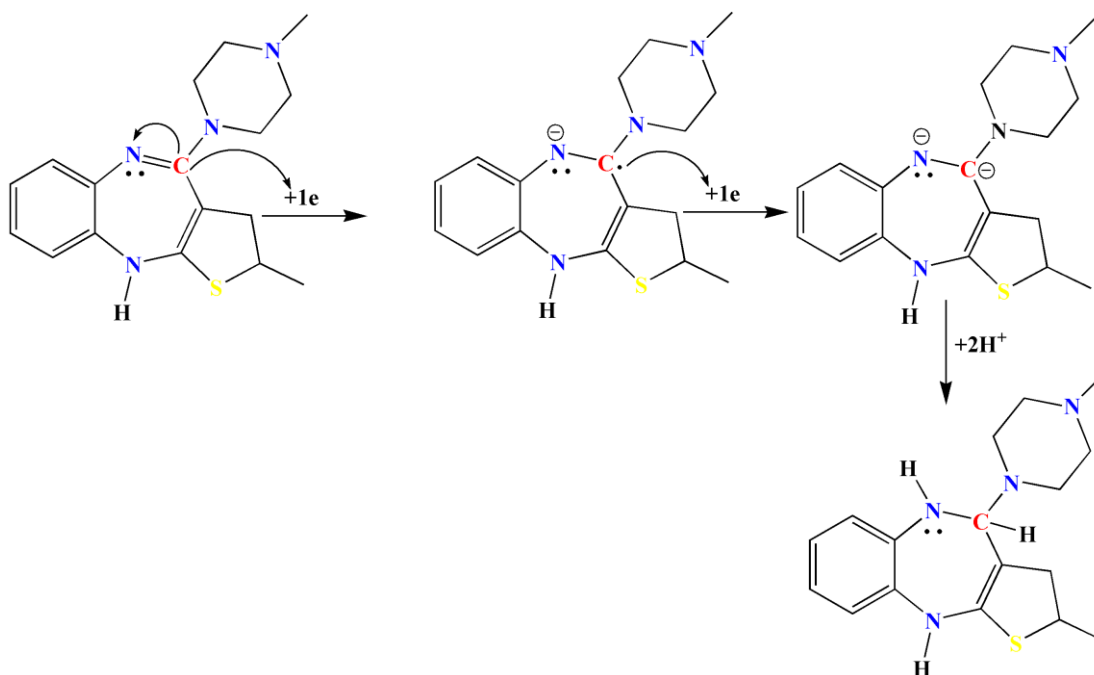


Figure 8. Suggested electrochemical reduction mechanism for olanzapine

4. Conclusion

A sensitive and simple electrochemical reduction technique was developed for the determination of the olanzapine quantity in pharmaceuticals and spiked human urine. Olanzapine could be determined on a glassy carbon electrode in BR buffer (pH 7.00) by the differential pulse voltammetry technique. Electrode reaction

was found to be pH dependent and irreversible. It was concluded that for accuracy in studies of olanzapine, the developed technique could easily be applied to biological and pharmaceutical preparations. In addition, voltammetric techniques have advantages over the other methods, and this easier and faster technique can also be an alternative to techniques with modified electrodes. Lastly, a reaction mechanism related to the reduction of olanzapine was also proposed for the first time with this study.

Acknowledgement

This study was supported by the Office of Scientific Research Projects Coordination at Çanakkale Onsekiz Mart University. Grant number: FBA-2018-2702. Author would like to thank Abdi İbrahim Drug Company (Istanbul, Turkey) for providing olanzapine and its tablet form Rexpapine for the development the applied voltammetric techniques.

Author Contributions

Sultan YAĞMUR KABAŞ: Conceived and designed the paper, collected data, performed the analysis, and wrote the paper.

Conflicts of Interest

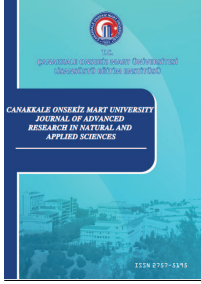
The author declares no conflict of interest.

References

- Adegoke, O.A., Thomas, O. E., & Emmanuel, S.N. (2016). Colorimetric determination of olanzapine via charge-transfer complexation with chloranilic acid, *Journal of Taibah University for Science*, 10(5), 651-663. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.12.002>
- Ahmed, H. M., Mohamed, M. A., & Salemb, W. M. (2015). New voltammetric analysis of olanzapine in tablets and human urine samples using a modified carbon paste sensor electrode incorporating gold nanoparticles and glutamine in a micellar medium, *Analytical Methods*, 7, 581-589. <https://doi.org/10.1039/C4AY02450H>
- Azab, S. M., & Amany M. Fekry, A. M. (2019). Role of green chemistry in antipsychotics' electrochemical investigations using a nontoxic modified sensor in mcilvaine buffer solution, *ACS Omega*, 4, 25-30. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01972>
- Behzad, L. M., Ghoviland, M. B., Shamsipur, M., Ghoviland, K., Barati, A., & Gholami, A. (2016). Highly sensitive voltammetric sensor based on immobilization of bisphosphoramidate-derivative and quantum dots onto multi-walled carbon nanotubes modified gold electrode for the electrocatalytic determination of Olanzapine, *Materials Science and Engineering C*, 60, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.10.068>
- Berna, M., Ackermann, B.; Ruterbories, K., & Glass, S. (2002). Determination of olanzapine in human blood by liquid chromatography/tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography B.*, 67, 163-168. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(01\)00548-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(01)00548-5)
- Biryol, I., & Erk, N. (2013). Voltammetric, spectrophotometric, and high performance liquid chromatographic analysis of Olanzapine, *Analytical Letters*, 36(11), 2497-2513. <https://doi.org/10.1081/AL-120024338>
- Bonde, S. L., Bhadane, R. P., Gaikwad, A., Gavali, S. R., Katale, D. U., & Narendiran, A. S. (2014). Simultaneous determination of olanzapine and fluoxetine in human plasma by LC-MS/MS: Its pharmacokinetic application, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 90, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.10.033>
- Can, S., Yılmaz S., Saglikoglu G., Sadikoglu M., & Menek N. (2015). Electrocatalytic oxidation of acyclovir on poly(p-Aminobenzene Sulfonic Acid) film modified glassy carbon electrode, *Electroanalysis*, 27, 1-9. <https://doi.org/10.1002/elan.201500102>
- Çıtak, M., Yılmaz, S., Dilgin, Y., Türker, G., Yagmur, S., Erdugan, H., & Erdugan, N. (2007). Osteryoung square wave voltammetric determination of phenazopyridine hydrochloride in human urine and tablet dosage forms based on electrochemical reduction at carbon paste electrode, *Current Pharmaceutical Analysis*, 3, 141-145. <https://doi.org/10.2174/157341207780598977>

- Dziomba, S., Kowalski, P., Slominska, A., & Baczec, T. (2014). Field-amplified sample injection coupled with pseudo-isotachopheresis technique for sensitive determination of selected psychiatric drugs in human urine samples after dispersive liquid-liquid microextraction, *Analytica Chimica Acta*, 811, 88-93. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.12.021>
- Du, P., Li, P., Zhao, R., Liu, H., & Liu, L.H. (2019). Optimized UPLC-MS/MS method for the quantitation of olanzapine in human plasma, application to a bioequivalence study, *Bioanalysis*, 11(13), 1291-1302. <https://doi.org/10.4155/bio-2019-0114>
- Eker, R., Yilmaz, S., Yagmur, S., & Tonguc Yayintas, O. (2017). Voltammetric determination of clozapine from its drug form, *Journal of Scientific Perspectives* 1(2), 19-30. <https://doi.org/10.26900/jsp.2017.6>
- El Shal, M. (2013). Electrochemical studies for the determination of quetiapine fumarate and olanzapine antipsychotic drugs, *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 3(2), 339-344. <https://doi.org/10.5681/apb.2013.055>
- Engin, C., Yilmaz, S., Saglikoglu, G., Yağmur, S., & Sadikoglu, M. (2015). Electroanalytical investigation of paracetamol on glassy carbon electrode by voltammetry", *International Journal of Electrochemical Science*, 10, 1916-1926.
- Firdous, S., Aman, T., & Nisa, A. (2005). Determination of olanzapine by UV spectrophotometry and non-aqueous titration, *Journal-Chemical Society Pakistan*, 27, 163-167. <https://www.jcsp.org.pk/ArticleUpload/958-4115-1-RV.pdf>
- Jasinska, A., & Nalewajko, E. (2004). Batch and flow injection methods for the spectrophotometric determination of Olanzapine, *Analytica Chimica Acta*, 508, 165-170. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.11.069>
- Karaca, Atilla, S., & Yeniceli Ugur, D. (2018) Development of a validated HPLC method for simultaneous determination of olanzapine and aripiprazole in human plasma, *Journal of Research in Pharmacy*, 22(4), 493-501. <https://doi.org/10.12991/jrp.2018.90>
- Karadurmus, L., Kir, D., Kurbanoglu, S., & Ozkan, S. A. (2019). Electrochemical analysis of antipsychotics, *Current Pharmaceutical Analysis*, 15(5), 413-428. <https://doi.org/10.2174/1573412914666180710114458>
- Kasper, S.C., Mattiuz, E.L., Swanson, S.P., Chiu, J.A., Johnson, J.T., & Garner, C.O. (1999). Determination of olanzapine in human breast milk by high-performance liquid chromatography with electrochemical detection, *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 726, 203-209. [http://doi.org/10.1016/S0378-4347\(99\)00017-1](http://doi.org/10.1016/S0378-4347(99)00017-1)
- Kul, D. (2019). Voltammetric analysis of a typical antipsychotic drugs with solid electrodes, *Current Analytical Chemistry*, 15(3), 240-248. <https://doi.org/10.2174/1573411014666180426170022>
- Mashhadizadeh, M. H., & Afshar, E. (2012). Electrochemical studies and selective detection of thioridazine using a carbon paste electrode modified with zn nanoparticles and simultaneous determination of thioridazine and olanzapine, *Electroanalysis*, 24(11), 2193 - 2202. <https://doi.org/10.1002/elan.201200422>
- Merli, D., Dondi, D., Pesavento, M., & Profumo, A. (2012). Electrochemistry of olanzapine and risperidone at carbon nanotubes modified gold electrode through classical and dft approaches, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 683, 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2012.08.011>
- Nosal-Wiercinska A., Yilmaz S., Binel S., Yağmur S., Sağlıkoğlu G., Sadikoglu M., et al. (2014). Electroanalytical and HPLC methods for the determination of oxcarbazepine in spiked human urine and tablet dosage form, *Croatica Chemica Acta*, 87(3), 213-219. <http://dx.doi.org/10.5562/cca2046>
- Olajire, A., Olusegun, T., & Stephen, N. E. (2016). Colorimetric determination of olanzapine via charge-transfer complexation with chlorilic acid, *Journal of Taibah University for Science*, 10(5), 651-663. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.12.002>
- Olanzapine, <https://medlineplus.gov/medlineplus.html>
- Pucci, V., Raggi, M., & Kenndler, E. (1999). Separation of eleven central nervous system drugs by capillary zone electrophoresis, *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 728, 263-271. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(99\)00101-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(99)00101-2)
- Raggi, M.A., Casamenti, G., Mandrioli, R., Fanali, S., Ronchi, D.D., & Volterra, V. (2000). Determination of the novel antipsychotic drug olanzapine in human plasma using HPLC with amperometric detection, *Chromatographia*, 51, 562-566. [https://doi.org/10.1016/S0731-7085\(00\)00382-4](https://doi.org/10.1016/S0731-7085(00)00382-4)
- Rodrigo, E. & Waldvogel, S. R. (2019). Simple electrochemical reduction of nitrones to amines, *Chemical Science*, 10, 2044-2047. <https://doi.org/10.1039/C8SC04337J>

- Rosado, T., Oppolzer, D., Cruz, B., Barroso, M., Varela, S., Oliveira, V., Leitao, C., & Gallardo, E. (2018). Development and validation of gas chromatography/tandem mass spectrometry method for simultaneous quantitation of several antipsychotics in human plasma and oral fluid, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 32(23), 2081-2095. <https://doi.org/10.1002/rcm.8087>
- Rouhani, M., & Soleymannpour, A. (2019). A new selective carbon paste electrode for potentiometric analysis of olanzapine, *Measurement*, 140, 472-478. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.04.018>
- Sadikoglu, M., Saglikoglu, G., Yagmur, S., Orta, E., & Yilmaz, S. (2011). Voltammetric determination of acyclovir in human urine using ultra trace graphite and glassy carbon electrodes, *Current Analytical Chemistry*, 7, 130-135. <http://dx.doi.org/10.2174/157341111794815011>
- Samanidou, V., Stathatos, C., Njau, S., & Kovatsi, L. (2013). Disposable pipette extraction for the simultaneous determination of biperiden and three antipsychotic drugs in human urine by GC-nitrogen phosphorus detection, *Bioanalysis*, 5(1), 21-29. <https://doi.org/10.4155/bio.12.292>
- Shahrokhian, S., Azimzadeha, M., & Hosseinia, P. (2014). Modification of a glassy carbon electrode with a bilayer of multiwalled carbon nanotube/benzenedisulfonate-doped polypyrrole: Application to sensitive voltammetric determination of olanzapine, *RSC Advances*, 4, 4055-4060. <https://doi.org/10.1039/C4RA04584J>
- Tepeli, B., Yilmaz, S., & Yagmur, S. (2019). Reduction behavior of moxifloxacin hydrochloride and its analysis in spiked human urine and dosage form, *Hittite Journal of Science and Engineering*, 6(2) 153-156. <http://dx.doi.org/10.17350/HJSE19030000141>
- Ugurlu, E., Yagmur S., & Yilmaz, S. (2018). Determination of clomipramine hydrochloride from its commercial drug form by voltammetry, *Journal of Scientific Perspectives*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.26900/jsp.2018.01>
- Yağmur, S., Yılmaz, S., Sağlikoglu, G., Sadikoglu, M., Yildiz, M., & Polat, K. (2013). Synthesis, spectroscopic studies and electrochemical properties of schiff bases derived from 2-hydroxyaldehydes and phenazopyridine hydrochloride, *Journal of Serbian Chemical Society*, 78(6), 795-804. <http://doi.org/10.2298/jsc120524151y>
- Yağmur S., Türe M., Sağlikoğlu G., Sadikoglu M., & Yilmaz S. (2018). The quantitative detection of phenylephrine in pharmaceutical preparations and spiked human urine by voltammetry, *Russian Journal of Electrochemistry*, 54(10), 741-746. <http://doi.org/10.1134/s1023193518100063>
- Yılmaz, B., Albayrak, M., & Kadioglu, Y. (2017). Determination of olanzapine in pharmaceutical preparations by linear sweep voltammetry method, *CBU Journal of Science*, 13(1), 99-104. <https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.302648>
- Yılmaz, S. (2016). Uygulama Örnekleriyle Elektroanalitik Kimya, Genişletilmiş 4. Baskı, Gazi kitapevi, Ankara.
- Yılmaz, S., Baltaoğlu, E., Sağlikoglu, G., Yagmur, S., Polat, K., & Sadikoglu, M. (2013). Electroanalytical determination of metronidazole in tablet dosage form, *Journal of Serbian Chemical Society*, 78(2), 295-302. <https://doi.org/10.2298/JSC120111069Y>
- Zheng, Q., Wang, F., Li, H., Xu, P., Tang, H., Li, L., & Chen, R. (2012). Quantitative analysis of olanzapine in rat brain microdialysates by HPLC-MS/MS coupled with column-switching technique, *Journal of Chromatography B-Analytical Technologies in Biomedical and Life Sciences*, 905, 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2012.07.024>



Identification of Leverage Points in Principal Component Regression and $r - k$ Class Estimators with AR(1) Error Structure

Tuğba Söküt Açar^{1,*}

¹Department of Statistics, Faculty of Arts and Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 03.04.2020

Accepted: 05.11.2020

Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract — The determination of leverage observations have been frequently investigated through ordinary least squares and some biased estimators proposed under the multicollinearity problem in the linear regression models. Recently, the identification of leverage and influential observations have been also popular on the general linear regression models with correlated error structure. This paper proposes a new projection matrix and a new quasi-projection matrix to determination of leverage observations for principal component regression and $r-k$ class estimators, respectively, in general linear regression model with first-order autoregressive error structure. Some useful properties of these matrices are presented. Leverage observations obtained by generalized least squares and ridge regression estimators available in the literature have been compared with proposed principal component regression and $r-k$ class estimators over a simulation study and a numerical example. In the literature, the first leverage is considered separately due to the first-order autoregressive error structure. Therefore, the behaviours of first leverages obtained by principal component regression and $r-k$ class estimators has been also investigated according to the autocorrelation coefficient and biasing parameter through applications. The results showed that the leverage of the first observation obtained by principal component regression and $r-k$ estimators is smaller than that obtained by generalized least squares and ridge regression estimators. In addition, as the autocorrelation coefficient goes to -1 , the leverage of the first transformed observation decreases for PCR and $r-k$ class estimators, while its increases while the autocorrelation coefficient goes to 1 .

Keywords — Autocorrelation, first-order autoregressive error, leverages, multicollinearity, biased estimators

1. Introduction

Regression analysis is used to model the effect of one or more regressor on the response. Multicollinearity, defined as the correlation between the regressors, is a major problem to overcome in regression analysis. Applied data collection method, variable requirement at the model, or over fitted model may lead to multicollinearity problem. It may not be the correct approach to omit one of the regressors that cause the correlations. For example, there is a high correlation between the number of individuals in the family and family expenditures when the socio-economic level is determined, and it is expected that the contribution of these variables to the model will be high. In this instance omitting one of the regressors may reduce the explanatory percentage of the model. The ordinary least squares (OLS) estimation procedure leads to unreliable and unstable estimates of regression coefficients under this problem because the variance of the estimators are inflated. Some bias estimators that overcome to multicollinearity problem have been proposed in the statistics literature and are still a popular topic that is being proposed (Hoerl & Kennard, 1970; Liu, 1993; Marquardt, 1970). Most popular biased estimations are based on ridge and principal component procedures.

Another problem in the data set is that some observations may be located at different points in the regressor space. The concept of leverage is being used in regression diagnostics as a measure of differently located observations in the regressor space (Steece, 1986). The leverage points are determined by the diagonal entries

¹  t.sokut@comu.edu.tr

*Corresponding Author

of projection matrix which depend on only the regressor matrix. Myers (1990, p. 253) noted that which data points are high leverage may change if the model formulation is changed. However some authors have reviewed leverage points for different estimators and have indicated that the position of the leverage point has shrunk according to the used estimator procedure. For instance, Steece (1986) showed that the leverage values of relevant observation reduce with increasing biasing parameter in ridge regression (RR) under the $E(\varepsilon\varepsilon') = \sigma^2 I_n$ assumption. It means that RR estimator with homoscedastic errors yield smaller leverage values than least squares estimator does (Walker & Birch, 1988). Steece (1986) also noted that RR estimator can cope with the outliers by down weighting of relevant influential observations. But it should be noted that even if the leverage's are reduced as value, the important thing is the success in determining the leverage observations in same spaces. Leverages should be carefully investigated to see if a reason for their unusual behaviours can be found. Once the leverage has been determined, it can either be deleted from the dataset or be corrected (if possible). But, the leverage points may contain useful information or may be systematically leverage point as described in the following paragraph. In this case observation deletion may cause useful information loss.

The assumption of uncorrelated errors must be valid for the application of the OLS procedure to the linear regression model. However, violation of this assumption which is called autocorrelation can be encountered in practice. Working with time series data, the presence of some regressors which is not included in the model but should be in the model or non-random measurement errors at the response may cause autocorrelation problem. For example, if the change in one person's income affects the other's savings, autocorrelation exists. In time series data, if the observations show inter-correlation, especially in cases where the time intervals are little, the concept of autocorrelation occurs. Leverages in general linear regression model (GLRM) with autocorrelation problem has been considered by several authors (Özkale & Açar, 2015; Puterman, 1988; Roy & Guria, 2004; Stemann & Trenkler, 1993). Especially there are more studies under the autocorrelation problem from the first-order autoregressive errors, AR(1). Because of the AR(1) structure, first observation can be leverage based on the autocorrelation coefficient. For instance, Stemann & Trenkler (1993) noted that the leverages of first observation obtained by generalized least squares (GLS) increase with increasing autocorrelation coefficient. Açar & Özkale (2016) report that the leverages of first observation obtained by RR increase to 1 while the autocorrelation coefficient goes to 1. In this case, deleting technique will not be effective solution on the first observation leverage's. The first observation in the new data set will show the same behaviour versus the autocorrelation coefficient. In such a case, could different estimators can be a solution? In this paper, leverage concept which has been examined in general linear regression model with multicollinearity problem over the RR estimator will be investigated for the other biased estimators such as principle component regression (PCR) and $r - k$ class estimators. The contribution of this paper to the statistics literature as follows: The projection and quasi-projection matrix for PCR and $r - k$ class estimators, respectively, with AR(1) structure were obtained. Some useful properties of the this matrices were investigated. Another contribution of this paper is the examination of the behaviour of the first leverages obtained by PCR and r-k class estimators versus to the different autocorrelation coefficients and biasing parameters.

The continuation of the study is structured as follows. The model and the estimators used throughout the paper are presented as Materials and Methods. Also the proposed projection matrices for PCR and $r - k$ class estimators are given in this section. The applications are given as results and discussion. Finally, the results of this paper are presented.

2. Materials and Methods

2.1. The Model and Estimators

The GLRM can be written as

$$y = X\beta + \varepsilon, E(\varepsilon) = 0, E(\varepsilon\varepsilon') = \sigma^2\Psi \quad (2.1)$$

where y is the response vector consisting of n lines, $X = [1 \ x_1 \ x_2 \dots x_k]$ is an $n \times p, p = k + 1$ non stochastic regressor matrix with $x_j = (x_{1j} \ x_{2j} \dots x_{nj})'$, β is the p -vector containing the regression parameters to be estimated. Random errors from the normal distribution denoted by ε have zero mean and $\sigma^2\Psi$ variance.

The matrix of covariance for the errors can be given as

$$\begin{aligned}
 \bullet E(\varepsilon\varepsilon') &= \begin{pmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \sigma^2 \end{pmatrix} = \sigma^2 I_n \\
 \bullet E(\varepsilon\varepsilon') &= \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \sigma_n^2 \end{pmatrix} = \text{diag}(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2) \\
 \bullet E(\varepsilon\varepsilon') &= \begin{pmatrix} \sigma^2 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{n-1} \\ \rho_1 & \sigma^2 & \rho_1 & \dots & \rho_{n-2} \\ \rho_2 & \rho_1 & \sigma^2 & \dots & \rho_{n-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n-1} & \rho_{n-2} & \rho_{n-3} & \dots & \sigma^2 \end{pmatrix} = \Omega = \sigma^2 \Psi.
 \end{aligned}$$

As it can be seen, there are 3 cases: In the first case, the errors have a constant variance and are not correlated to each other. The model which has the first case error covariance matrix is called as linear regression model. This state is optimal situation for applying the OLS procedure. The matrix with the second state shows a diagonal matrix whose elements on the diagonal are different, that is non constant variance. This state is known as heteroscedasticity. When the constant variance assumption is violated, the weighted least squares estimator is used. Final state shows the fundamental structure of this paper called as autocorrelation. That is, autocorrelation problem refers to the situation where the errors are correlated, $\text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) \neq 0$ for $i \neq j$. There are several structures under this problem such as autoregressive (AR) processes and moving average (MA) processes, as well as a combination of both types, the so-called ARMA processes. A further assumption of this paper based on the errors are modelled by AR(1) process.

Durbin & Watson (DW) statistics proposed by Durbin & Watson (1950) tests whether the errors are in the AR(1) structure in a model with a constant term ($d_w = \frac{\sum_{t=2}^n (v_t - v_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n v_t^2}$, where v_t is the t th OLS residual).

The errors with AR(1) process are modelled as

$$\varepsilon_i = \rho\varepsilon_{i-1} + u_i, \quad |\rho| < 1, \quad u_i \sim WN(0, \sigma_u^2) \tag{2.2}$$

where ρ denotes the autocorrelation coefficient and WN denotes the white noise. If ρ is not known, the estimation procedure given by Judge et al. (1985) is used ($\hat{\rho} = \frac{\sum_{t=2}^n v_t v_{t-1}}{\sum_{t=1}^n v_t^2}$).

The variance-covariance matrix for AR(1) error structure is reported by Judge et al. (1985) as

$$E(\varepsilon\varepsilon') = \sigma^2 \Psi = \frac{\sigma_u^2}{1 - \rho^2} \begin{bmatrix} 1 & \rho & \dots & \rho^{n-1} \\ \rho & 1 & \dots & \rho^{n-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho^{n-1} & \rho^{n-2} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \tag{2.3}$$

Ψ is a positive defined and symmetric matrix, so there is always a non-singular $n \times n$ matrix P with $\Psi = PP'$.

The matrix P^{-1} provides $P^{-1}\Psi(P^{-1})' = I_n$ which is as follows

$$P^{-1} = \begin{bmatrix} \sqrt{1-\rho^2} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -\rho & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -\rho & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -\rho & 1 \end{bmatrix}$$

By multiplying the model 2.1 by P^{-1} , the transformed model can be written as

$$y^* = X^*\beta + \varepsilon^* \tag{2.4}$$

where $y^* = P^{-1}y = (\sqrt{1-\rho^2}y_1, y_2 - \rho y_1, \dots, y_n - \rho y_{n-1})'$,

$$X^* = P^{-1}X = \begin{bmatrix} \sqrt{1-\rho^2} & \sqrt{1-\rho^2}x_{11} & \dots & \sqrt{1-\rho^2}x_{1k} \\ 1-\rho & x_{21} - \rho x_{11} & \dots & x_{2k} - \rho x_{1k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1-\rho & x_{n1} - \rho x_{(n-1)1} & \dots & x_{nk} - \rho x_{(n-1)k} \end{bmatrix} \text{ and}$$

$\varepsilon^* = P^{-1}\varepsilon = (\sqrt{1-\rho^2}\varepsilon_1, \varepsilon_2 - \rho\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n - \rho\varepsilon_{n-1})'$

are the transformed response vector, regressor matrix and the error vector, respectively. It can be easily seen that the first row of y^* , X^* and ε^* exhibit different structures due to the AR(1). From this point of view, the first observation makes important differences in the examination against autocorrelation coefficient. In the equation 2.4, the expected value of the error is $E(\varepsilon^*) = 0$ and the variance-covariance matrix is $E(\varepsilon^*) = \sigma_\varepsilon^2 I_n$.

Since the transformed model has homoscedastic and uncorrelated errors, the least squares method can be applied. As a result, the application of least squares to the transformed observations yield

$$\hat{\beta}^{GLS} = (X^{*'}X^*)^{-1} X^{*'}y^* \tag{2.5}$$

which is known as the GLS estimator (Aitken, 1935). Under the multicollinearity problem, $X^{*'}X^*$ matrix is ill-conditioned. Although the GLS estimator is the best linear unbiased estimator (BLUE) in the GLRM, it causes a large total variance when multicollinearity exists and in this case yields estimates should not be trusted Trenkler (1984).

In GLRM model, the detection of multicollinearity techniques are similar to linear regression model. The most famous technique is condition number (CN) which depends on a ratio of maximum to minimum eigenvalues of $X^{*'}X^*$. Montgomery et al. (2001) noted that there is no serious multicollinearity problem when CN is less than 100. Also, they noted that if $100 < CN < 1000$ then there is a moderate multicollinearity problem and if $CN > 1000$ then there is severe multicollinearity problem among the regressors. Trenkler (1984) has addressed Hoerl & Kennard (1970)'s RR estimator which is well-known technique for reducing the variance under multicollinearity and autocorrelation problems as follows

$$\hat{\beta}^{RR} = (X^{*'}X^* + kI_p)^{-1} X^{*'}y^*, k > 0 \tag{2.6}$$

with $bias(\hat{\beta}^{RR}) = -k(X^{*'}X^* + kI_p)^{-1}\beta$. Here k represents the biasing parameter. Under the model 2.1, k can be estimated by $k = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\hat{\beta}^{GLS'}\hat{\beta}^{GLS}}$ where $\hat{\sigma}^2$ is the unbiased estimator of σ^2 which is the most widely used estimation method of k based on Hoerl et al. (1975)'s procedure. However, a major problem in RR is based on choosing of k since the $MSE(\hat{\beta}^{RR})$ and $bias(\hat{\beta}^{RR})$ are also depends on the k (Kibria, 2003). Recommended estimated procedures for the selection of k in the literature are quite a lot.

PCR is the another popular biased estimator used in the presence of multicollinearity. In PCR, the matrix X^* is expressed in terms of its principal components. The singular value decomposition of $X^{*'}X^*$ is expressed

as $X^{*'}X^* = \Phi\Lambda\Phi'$ where $\Lambda = \begin{bmatrix} \Lambda_1 & 0 \\ 0 & \Lambda_2 \end{bmatrix}$ is a diagonal matrix with the entries are the eigenvalues of $X^{*'}X^*$, Λ_1 and Λ_2 are the $r \times r$ and $p - r \times p - r$ diagonal matrices respectively such that the main diagonal entries of Λ_1 are the $r \leq p$ largest eigenvalues of $X^{*'}X^*$, while the main diagonal entries of Λ_2 are the remaining $p - r$ eigenvalues. $\Phi = (\Phi_1 \Phi_2)$ is a orthogonal matrix corresponding to the k th column is the k th eigenvector of $X^{*'}X^*$. $\Phi_1 = (\phi_1, \dots, \phi_r)$ is an $p \times r$ matrix formed by eigenvectors which is corresponding to the largest eigenvalues than 1. $\Phi_2 = (\phi_{r+1}, \dots, \phi_p)$ is the remaining eigenvectors, so that $\Phi_1'\Phi_1 = I_r$, $\Phi_2'\Phi_2 = I_{p-r}$, $\Phi_1'\Phi_2 = 0$, $X^{*'}X^* = \Phi_1\Lambda_1\Phi_1' + \Phi_2\Lambda_2\Phi_2'$. By following [Marquardt \(1970\)](#), [Trenkler \(1984\)](#) gives the PCR estimator for model (2.1) as

$$\hat{\beta}^{PCR} = \Phi_1 (\Phi_1'X^{*'}X^*\Phi_1)^{-1} \Phi_1'X^{*'}y^*. \tag{2.7}$$

$\hat{\beta}^{PCR}$ is biased estimator with $bias(\hat{\beta}^{PCR}) = [\Phi_1\Phi_1' - I_p] \beta$.

[Şiray et al. \(2014\)](#) proposed the $r - k$ class estimator as a combination of ridge and PCR estimators under model (2.1) as below

$$\hat{\beta}^{r-k} = \Phi_1 (\Phi_1'X^{*'}X^*\Phi_1 + kI_r)^{-1} \Phi_1'X^{*'}y^*, k > 0. \tag{2.8}$$

$\hat{\beta}^{r-k}$ is a biased estimator with $bias(\hat{\beta}^{r-k}) = (k\Phi_1(\Lambda_1 + kI_r)^{-1}\Phi_1' + \Phi_2\Phi_2') \beta$.

[Şiray et al. \(2014\)](#) proposed the selection of k , which makes the $r - k$ class estimator better than GLS according to the mean of error squares as $k = \frac{\hat{\sigma}^2}{\max|\hat{\alpha}_i^2 - \frac{\hat{\sigma}^2}{\lambda_i}|}$.

2.2. Proposed Projection Matrices for PCR and $r - k$ Class Estimators

Several authors noted that one of the popular diagnostics methods to measure the impact of a particular observation is based on the projection matrix ([Puterman, 1988](#); [Steece, 1986](#)). [Dodge & Hadi \(2010\)](#) state that this matrix is called as projection or called more commonly as hat matrix. The diagonal entries of the projection matrix give the leverage of the relevant observation. The projection matrix maps y into the fitted y . Therefore, the leverage points in the regressor space will differ according to the estimation procedure used by fitted y . For example, [Puterman \(1988\)](#) stated that the diagonal entries of the projection matrix in OLS are dependent solely on independent variables or regressor matrices as well as autocorrelation coefficient is effective on the diagonal entries of the projection matrix when GLS is used. In addition, [Steece \(1986\)](#) noted that the biasing parameter k is effective on leverage values when the RR estimator is used. The diagonal entries of projection matrix for GLS estimator are given by [Puterman \(1988\)](#) as

$$h_{i,i}^{GLS} = x_i^* (X^{*'}X^*)^{-1} x_i^{*'} \tag{2.9}$$

where x_i^* is the i th row of X^* . For RR estimator the diagonal entries of projection matrix which is called as quasi-projection matrix is given by [Açar & Özkale \(2016\)](#) as

$$h_{i,i}^{RR} = x_i^* (X^{*'}X^* + kI_p)^{-1} x_i^{*'} \tag{2.10}$$

To determine the leverages with the PCR and $r - k$ class estimators for the model (2.1) is aimed in this paper. Let us investigate the projection matrix for PCR and $r - k$ class estimators. The response vector fitted by PCR estimator is

$$\begin{aligned} \hat{y}^{PCR} &= X^* \hat{\beta}^{PCR} \\ &= H^{PCR} y^* \end{aligned} \tag{2.11}$$

where $H^{PCR} = X^* \Phi_1 (\Phi_1'X^{*'}X^*\Phi_1)^{-1} \Phi_1'X^{*'}$ is the projection matrix for PCR estimator. $h_{i,i}^{PCR}$ denotes the i th diagonal entries of H^{PCR} and $h_{i,j}^{PCR}$ denotes the off-diagonal entries of H^{PCR} . The diagnostics entries of the projection matrix for the PCR estimator is then

$$h_{i,i}^{PCR} = x_i^* \Phi_1 \Lambda_1^{-1} \Phi_1' x_i^{*'} \tag{2.12}$$

The projection matrix H^{PCR} has some important properties like the projection matrix of OLS (Cook & Weisberg, 1982) and GLS (Puterman, 1988; Stemann & Trenkler, 1993) estimators. We introduced this properties as follow

- (i) H^{PCR} and $(I_n - H^{PCR})$ are symmetric matrices
- (ii) H^{PCR} is an idempotent matrix, $(I_n - H^{PCR})$ is also idempotent
- (iii) $\sum_{i=1}^n h_{i,i}^{PCR} = \text{trace}(H^{PCR}) = \text{rank}(H^{PCR}) = r$
- (iv) $\text{trace}(I_n - H^{PCR}) = n - r$

where r is the number of eigenvalues equal to or higher than 1.

When the $r - k$ class estimator is used, the fitted values can be written as

$$\begin{aligned} \hat{y}^{r-k} &= X^* \hat{\beta}^{r-k} \\ &= H^{r-k} y^* \end{aligned} \quad (2.13)$$

where $H^{r-k} = X^* \Phi_1 (\Phi_1' X^{*'} X^* \Phi_1 + kI_r)^{-1} \Phi_1' X^{*'}$. H^{r-k} is symmetric but is not idempotent matrix so it is called quasi-projection matrix.

$$h_{i,i}^{r-k} = x_i^* \Phi_1 (\Lambda_1 + kI_r)^{-1} \Phi_1' x_i^{*'} \quad (2.14)$$

is the diagonal entries of H^{r-k} .

3. Results and Discussion

All computations were performed using MATLAB R2013a.

3.1. Monte Carlo simulation

To determine the effect of ρ and k on the first leverages obtained by GLS, RR, PCR and $r - k$ class estimators a Monte Carlo simulation study was conducted. The following steps were followed;

Step 1: The sample size was taken as $n = 100$ and regressors number was fixed to $p = 4$.

Step 2: Following McDonald & Galarneau (1975), the correlated regressor variables are generated from

$$x_{ij} = (1 - \gamma^2)^{1/2} w_{ij} + \gamma w_{ip}, \quad j = 1, \dots, p, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.1)$$

where w_{ij} are independent standard normal pseudo-random numbers and γ^2 is the correlation between any two regressor variables. γ^2 were fixed to be as 0.99. The regressor matrix are centralized and standardized after x_{ij} was produced, so that the $X'X$ becomes the correlation form.

Step 3: The responses were generated from $y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^r \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i$. ε_i 's are generated by Eq.(2.2) where ρ is taken as $|\rho| = 0.99, 0.90, 0.70, 0.50$ and $u_i \sim IN(0, 1)$.

Step 4: Following Kibria (2003), β was determined as the normalized eigenvector corresponding to the largest eigenvalue of the $X^{*'} X^*$ matrix.

Step 5: P^{-1} matrix was created for each different value of ρ and the corresponding transformed response vector and the regressor matrix were constructed.

Step 6: Three different values of the biasing parameter were used as $k = 0.1, 0.5, 1$.

Step 7: The experiment was replicated 1000 times. For each of them, the first leverages were obtained then, averages and standard errors of leverage values were calculated for 1000 replications.

The average and standard error values of each state are given in Table 1.

Table 1

Leverage values of first transformed observation according to different ρ and k

ρ	k	$h_{1,1}^{GLS}$		$h_{1,1}^{RR}$		$h_{1,1}^{PCR}$		$h_{1,1}^{r-k}$	
		Mean	Std Er.	Mean	Std Er.	Mean	Std Er.	Mean	Std Er.
-0.99	0.1	0.0008	0.0005	0.0007	0.0003	0.0008	0.0006	0.0007	0.0000
	0.5	0.0008	0.0005	0.0006	0.0008	0.0008	0.0006	0.0006	0.0004
	1	0.0008	0.0005	0.0004	0.0007	0.0008	0.0006	0.0004	0.0002
-0.90	0.1	0.0081	0.0087	0.0058	0.0048	0.0006	0.0011	0.0006	0.0002
	0.5	0.0081	0.0087	0.0030	0.0021	0.0006	0.0011	0.0006	0.0009
	1	0.0081	0.0087	0.0020	0.0036	0.0006	0.0011	0.0006	0.0002
-0.70	0.1	0.0263	0.0625	0.0178	0.0222	0.0020	0.0047	0.0020	0.0031
	0.5	0.0263	0.0625	0.0087	0.0151	0.0020	0.0047	0.0019	0.0012
	1	0.0263	0.0625	0.0059	0.0038	0.0020	0.0047	0.0019	0.0041
-0.50	0.1	0.0457	0.0569	0.0295	0.0378	0.0037	0.0079	0.0037	0.0039
	0.5	0.0457	0.0569	0.0140	0.0205	0.0037	0.0079	0.0036	0.0046
	1	0.0457	0.0569	0.0095	0.0137	0.0037	0.0079	0.0036	0.0041
0.50	0.1	0.0691	0.0625	0.0539	0.0236	0.0297	0.0191	0.0296	0.0430
	0.5	0.0691	0.0625	0.0390	0.0521	0.0297	0.0191	0.0291	0.0774
	1	0.0691	0.0625	0.0342	0.0750	0.0297	0.0191	0.0286	0.0156
0.70	0.1	0.0764	0.1083	0.0682	0.0819	0.0543	0.1000	0.0537	0.1208
	0.5	0.0764	0.1083	0.0578	0.0548	0.0543	0.1000	0.0516	0.0771
	1	0.0764	0.1083	0.0528	0.1083	0.0573	0.1000	0.0491	0.0590
0.90	0.1	0.1673	0.3888	0.1529	0.0417	0.1612	0.1361	0.1468	0.0305
	0.5	0.1673	0.3888	0.1152	0.1333	0.1612	0.1361	0.1133	0.1722
	1	0.1673	0.3888	0.0885	0.1555	0.1612	0.1361	0.0873	0.0264
0.99	0.1	0.6682	0.5998	0.1539	0.1611	0.0007	0.0016	0.0006	0.0008
	0.5	0.6682	0.5998	0.0380	0.0062	0.0007	0.0016	0.0005	0.0009
	1	0.6682	0.5998	0.0197	0.0197	0.0007	0.0016	0.0004	0.0004

The comments obtained from Table 1 are as follows: The reason of the decrease in the leverage values of first transformed observation when PCR and $r - k$ estimators are used is the change in r . As also observed in the numerical example, if r does not change and the autocorrelation coefficient positively increases the leverage value of first transformed observation increases. The attitude towards autocorrelation coefficient of the first transformed observation obtained with GLS and RR was in parallel with the literature so that the first leverages increased when $\rho \rightarrow 1$. And also the leverage values of first transformed observation decreased with increasing k . This decrease was more evident on the RR estimator. In all cases, the first leverages obtained by PCR is smaller than GLS. Moreover, the first leverages obtained by $r - k$ class is smaller than RR.

3.2. An Example: Macroeconomics Data

To demonstrate the leverage points in PCR and $r - k$ class estimators, Macroeconomics Data given by Gujarati (2004, p. 794) was used. And the data was used to compare the results of PCR and $r - k$ class estimators with the outputs of GLS and RR estimators. The variables as follows: y is the quarterly US data on gross domestic product (GDP) growth, x_1 is personal disposable income (PDI), x_2 is personal consumption expenditure (PCE), x_3 is corporate profits after tax (Profits) and x_4 is net corporate dividend payments. All data are in billions of 1987 dollars and are for the quarterly periods of 1970–1991, for a total of 88 quarterly observations. The main model was constructed as follows:

$$y = 1\beta_0 + x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + x_3\beta_3 + x_4\beta_4 + \varepsilon = X\beta + \varepsilon. \tag{3.2}$$

The regressor matrix X was centralized and standardized; that is, $\sum_{i=1}^n x_{ij} = 0, \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 = 1, j = 1, 2, 3, 4$ as the $X'X$ is in correlation form. The relations between the regressors were obtained as follows,

$$X'X = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & & & \\ 0.9970 & 1 & & \\ 0.8469 & 0.8521 & 1 & \\ 0.9823 & 0.9842 & 0.7894 & 1 \end{pmatrix}.$$

Durbin-Watson test as $d_w = 0.4784$ which indicated that the positive autocorrelation existed in data. The autocorrelation coefficient was obtained as $\hat{\rho} = 0.7596$. Figure 1 shows the graphs of autocorrelation function (ACF) and partial autocorrelation function (PACF). It is observed that the first lag is statistically significant and all the others are not significant. This indicates a possible AR(1) model for this data set.

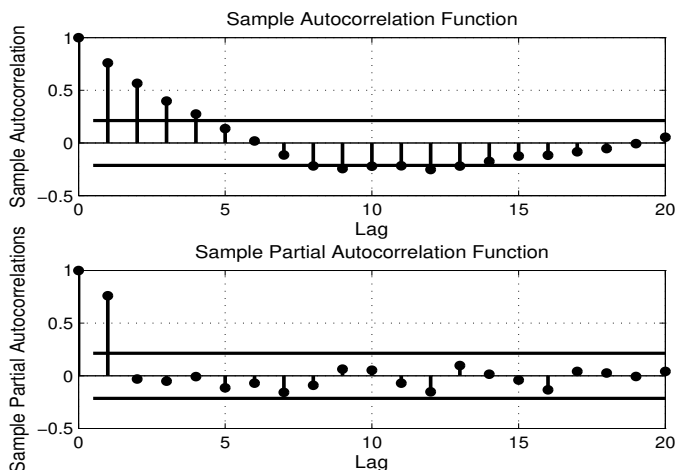


Figure 1. ACF and PACF for the Macroeconomics data

The strong relations between regressors drew attention to multicollinearity problem. The CN was obtained as $CN = 32592.5$ ($\lambda_1 = 88, \lambda_2 = 3.7516, \lambda_3 = 0.2514, \lambda_4 = 0.0142, \lambda_5 = 0.0027$) which indicated that there was a serious collinearity problem in the data set.

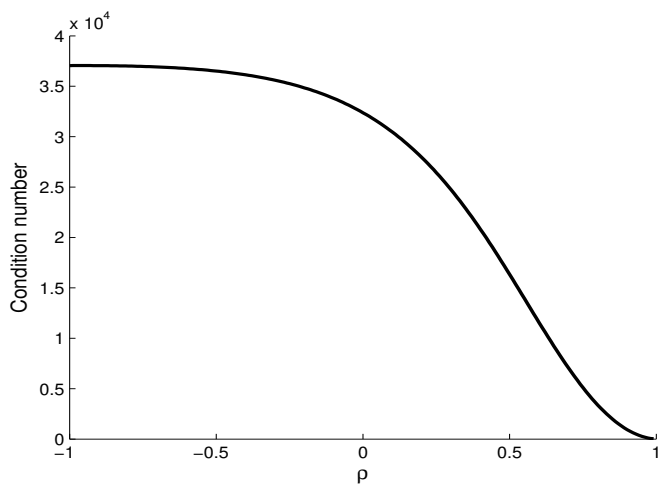


Figure 2. Condition number versus ρ for the Macroeconomics data

It can be seen from the Figure 2 that the CN decreased when the autocorrelation coefficient increased in positive direction. In the negative autocorrelation zone, the CN increased when $\rho \rightarrow -1$. It can be inferred from the graphs that the eigenvalues are significantly affected by the autocorrelation coefficient. Leverage values of all observation over the different estimators are given in Figure 3. Note that these results were only taken into the estimated $\hat{\rho} = 0.7596$ and $k = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\hat{\beta}_{GLS}'\hat{\beta}_{GLS}} = 7.5806e - 05$ for RR estimator and $k = \frac{\hat{\sigma}^2}{\max|\hat{\alpha}_i^2 - \frac{\hat{\sigma}^2}{\lambda_i}|} = 6.1112e - 05$

for $r - k$ class estimator.

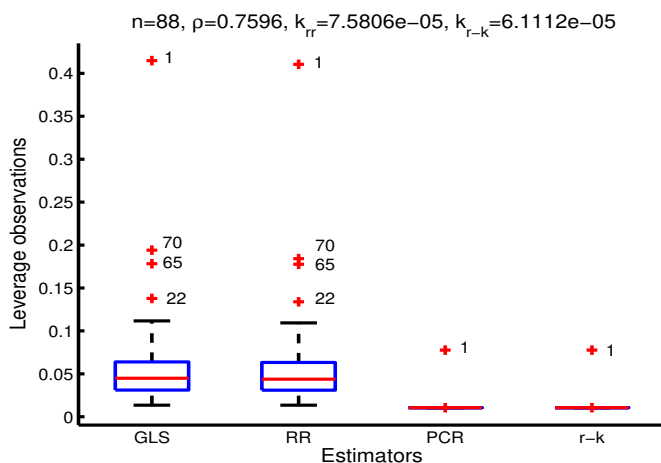


Figure 3. Leverage values at estimated ρ and k for the Macroeconomics data

In Figure 3, k_r represent the biasing parameter for RR estimator and k_{r-k} represent the biasing parameter for $r - k$ class estimator. As it can be seen in Figure 3, the first transformed observation was leverage point according to all the estimators for model 2.1. In addition, when the GLS and RR estimator were used 22, 65 and 70th observations were leverage points according to other observations at estimated ρ and k . Whereas, when PCR and $r - k$ estimators were used, there were no leverage points except 1 in the regressor spaces. That is, PCR and $r - k$ estimators shrank the leverages of 22, 65 and 70th observations on the regression spaces. The focus of this paper is the first transformed observation and to observe the behaviour of this observation against the autocorrelation coefficient and the biasing parameter. Many authors have studied the behaviour of first observation on the model with AR(1) error structure. For instance, Puterman (1988) showed that the first observation in a constant mean model ($y = \beta_0 \mathbf{1} + \varepsilon$) and a regression through the origin model ($y = \beta_0 x_1 + \varepsilon$) with AR(1) errors could have a large influence on regressor space. When the GLS is used, the first leverage goes to 1 at $\rho \rightarrow 1$ for a constant mean model while it goes to 0 at $\rho \rightarrow -1$ for a regression through the origin model. Stemann & Trenkler (1993) expanded Puterman (1988)'s investigation to the model which contained multiple regressors and they noted that if the model had constant term, then the first leverages close to 1 at $|\rho| \rightarrow 1$. Let's examine the behaviours of first leverages for different ρ and k .

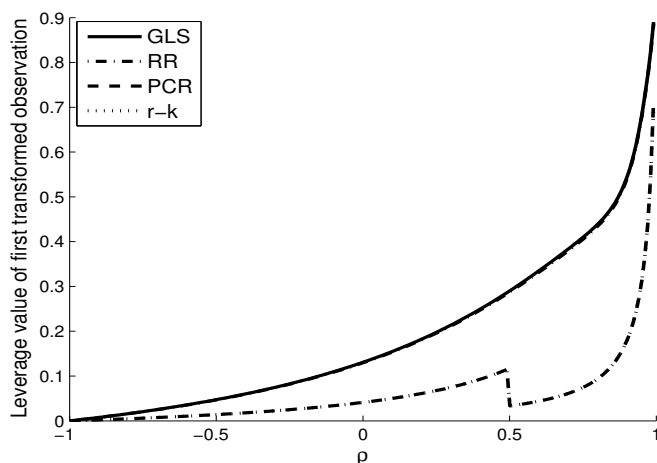


Figure 4. Leverage values of first transformed observation versus ρ according to different estimators for the Macroeconomics data

It can be realized in Figure 4 that the first transformed observation has a large leverage value as $|\rho| \rightarrow 1$. The first leverages decreases to 0 as $\rho \rightarrow -1$. That is, the first observation is not leverage on regressor space no matter which estimators are used while ρ goes to -1. GLS and RR estimators gave close leverage values in all cases and PCR and $r-k$ estimators too produced close values in all cases. But as we can see, GLS and RR estimator pairs offer higher leverage values than the pairs of PCR and $r-k$ estimators. The reason for the rapid decline of the first leverages obtained by PCR and $r-k$ estimators at $\rho \cong 0.4992$ is that $r = 2$ at the $-1 < \rho < 0.4992$ while $r = 1$ at the $0.4992 < \rho < 1$. Let's examine the first leverages against the biasing parameter, k . Because the GLS and PCR estimators do not contain k , these estimators were not included in the graphical representation.

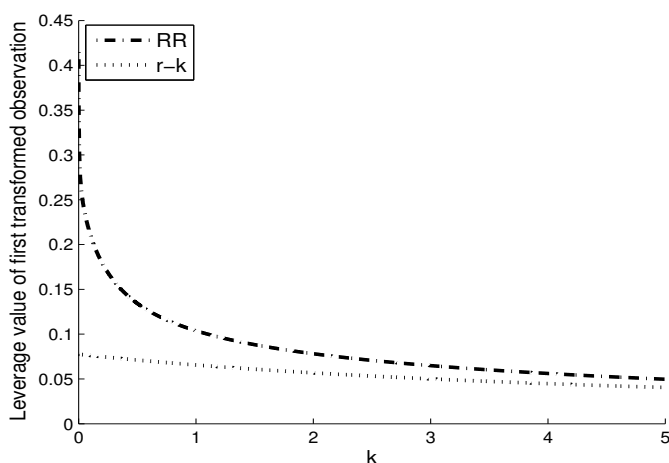


Figure 5. Leverage values of first transformed observation versus k according to RR and $r-k$ estimators for the Macroeconomics data

It is evident in Figure 5 that the first leverages decrease with increasing k .

4. Conclusion

In this paper, a new projection matrix and a new quasi-projection matrix obtained by PCR and $r-k$ class estimators in the linear regression model with first-order autoregressive errors have been proposed. It has been emphasized that the projection matrix obtained by PCR have some important features like the projection matrices obtained with GLS and OLS. That is, the projection matrix of PCR estimator is symmetric and idempotent. Since the first transformed observation has required special investigation due to the structure of AR (1), the first leverages obtained by PCR and $r-k$ class estimators have been compared with GLS and RR estimators over a Monte Carlo simulation and numerical example. The first leverages obtained by PCR and $r-k$ class estimators were smaller than those obtained by GLS and RR. This paper revealed that the first leverages obtained by PCR and $r-k$ class estimators increased by the autocorrelation coefficient in AR(1) structure. Also, the first leverages obtained by $r-k$ class estimators decrease with increasing k .

Acknowledgement

No financial support has been received from any institution or organization.

Author Contributions

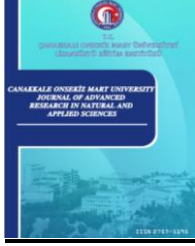
Author Tuğba Söküt Açar completed and wrote all the stages of the paper.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Açar, T.S., & Özkale M.R. (2016). Influence measures in ridge regression when the error terms follow an Ar(1) process. *Computational Statistics*, 31(3), 879-898. <https://doi.org/10.1007/s00180-015-0615-5>
- Aitken, A.C. (1935). IV.— On least square and linear combinations of observations. *Proceedings of Royal Statistical Society*, 55, 42-48. <https://doi.org/10.1017/S0370164600014346>
- Cook, R.D., & Weisberg, S.(1982). *Residuals and influence in regression*. Chapman and Hall, New York, pp. 11.
- Dodge, Y., & Hadi, A.S. (2010). Simple graphs and bounds for the elements of the hat matrix. *Journal of Applied Statistics*, 26(7), 817-823. <https://doi.org/10.1080/02664769922052>
- Durbin, J., & Watson, G.S. (1950). Testing for serial correlation in least squares regression I, *Biometrika*, 37(3/4), 409-428. <https://doi.org/10.2307/2332391>
- Gujarati, D.N. (2004). *Basic Econometrics*, 4th ed., McGraw-Hill, New Jersey.
- Hoerl, A.E., & Kennard, R.W. (1970). Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 12(1), 55-67. <https://doi.org/10.1080/00401706.1970.10488634>
- Hoerl, A.E., Kennard, R.W., & Baldwin, K.F. (1975). Ridge regression: some simulation. *Communications in Statistics*, 4(2), 105-123. <https://doi.org/10.1080/03610927508827232>
- Judge, G.G., Griffiths, W.E., Hill, R.C., Lütkepohl, H., & Lee, T.C. (1985). *The Theory and Practice of Econometrics*, 2nd ed. John Wiley & Sons Inc, New York.
- Kibria, B.M.G. (2003). Performance of some new ridge regression estimators. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 32(2), 419-435. <https://doi.org/10.1081/SAC-120017499>
- Liu, K. (1993). A new class of biased estimate in linear regression. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 22(2), 393-402. <https://doi.org/10.1080/03610929308831027>
- Marquardt, D.W. (1970). Generalized inverses, ridge regression, biased linear estimation, and nonlinear estimation. *Technometrics*, 12(3), 591-612. <https://doi.org/10.2307/1267205>
- McDonald, G.C., & Galarneau, D.I. (1975). A Monte Carlo evaluation of some ridge type estimators. *Journal of the American Statistical Association*, 70(350), 407-416. <https://doi.org/10.2307/2285832>
- Montgomery, D.C., Peck, E.A., & Vining, G.G. (2001). *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- Myers, R.H. (1990). *Classical and Modern Regression with Applications*. Duxbury Press, California, 1990.
- Özkale, M.R., & Açar, T.S. (2015). Leverages and influential observations in regression model with autocorrelated errors. *Communications in Statistics -Theory and Methods*, 44(11), 2267-2290. <https://doi.org/10.1080/03610926.2013.781646>
- Puterman, M.L. (1988). Leverage and influence in autocorrelated regression models. *Journal of the Royal Statistical Society*, 37(1), 76-86. <https://doi.org/10.2307/2347495>
- Roy, S.S., & Guria, S. (2004). Regression diagnostics in an autocorrelated model. *Brazilian Journal of Probability and Statistics*, 18(2), 103-112.
- Steece, B.M. (1986). Regressor space outliers in ridge regression. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 15(12), 3599-3605. <https://doi.org/10.1080/03610928608829333>
- Stemann, D., & Trenkler, G. (1993). Leverage and cochrane-ortcutt estimation in linear regression. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 22(5), 1315-1333. <https://doi.org/10.1080/03610929308831088>
- Şıray, G.Ü., Kaçıranlar, S., & Sakallıoğlu, S. (2014). $r - k$ class estimator in linear regression model with correlated errors. *Statistical Papers*, 55(2), 393-407. <https://doi.org/10.1007/s00362-012-0484-8>
- Trenkler, G. (1984). On the performance of biased estimators in the linear regression model with correlated or heteroscedastic errors. *Journal of Econometrics*, 25(1/2), 179-190. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(84\)90045-9](https://doi.org/10.1016/0304-4076(84)90045-9)
- Tripp, R.E. (1983). *Nonstochastic ridge regression and effective rank of the regressors matrix*, unpublished Ph.D. dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Dept. of Statistics.
- Walker, E. & Birch, J.B. (1988). Influence measures in ridge regression. *Technometrics*, 30(2), 221-227. <https://doi.org/10.2307/1270168>



Monte Carlo Simulation of the Gamma-Ray Transmissions for the newly Designed Shielding Blocks used in Radiotherapy

Nuray Yavuzkanat^{1,*}, Hazal Burcu Saraç Kürem²

¹Physics Department, Faculty of Art and Sciences, Bitlis Eren University, Bitlis, Turkey

²Physics Department, Graduate Education Institute, Bitlis Eren University, Bitlis, Turkey

Article History

Received: 15.06.2020

Accepted: 08.12.2020

Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract – Radiotherapy is one of the most important treatment methods of cancer, which is the worldwide disease nowadays. It is essential to protect the critical organs and healthy tissue inside the radiated area during the radiotherapy. For this reason, Cerrobend block (lipowitz alloy), which is made specifically for each patient, are commonly used in the hospitals. In the clinical application, the acceptable level of the gamma-ray transmission for Cerrobend blocks must be less than 5%. In this research, GEANT4 based GATE simulation program modelled to compare between gamma-ray transmissions of the standard Cerrobend block and newly designed Cerrobend blocks formed by adding the various number of the pure lead marbles. Experimental measurements were carried out with Alcyon II model Co-60 teletherapy machine for various field sizes by using Farmer type 0,6 cc ion chamber, PTW Unidos Dosimeter and solid phantom in Dr. Abdurrahman Yurtaslan Ankara Oncology Training and Research Hospital in 2010. The gamma-ray transmission of the newly designed Cerrobend block was found less than the standard block, therefore the protection of the critical organs for the patient could be better. The dose acquired by GEANT4 based GATE simulation program is consistent in experimentally measured radiation dose. Furthermore, the values of the linear attenuation coefficient theoretically obtained from XCOM software agree with the values acquired by experiment and simulation.

Keywords – Cerrobend, GATE simulation, mass attenuation coefficient, radiotherapy, shielding block

1. Introduction

Radiotherapy is one of the most important treatment methods of cancer, which is the worldwide disease nowadays. The purpose of the radiotherapy is giving the sufficient dose to the target volume (benign tumour or cancer cells) and the lowest dose to the critical organ, healthy tissue or system which is surrounding with tumour (such as the brain and lymphatic system) (Jeraj & Robar, 2004; Chang, Zhang, Dong, Zhang & Dai, 2012). If there is a virtual organ inside the radiation field, it is necessary to use a shielding block to protect it from the undesirable radiation. Determination of the perfect shape of the beam is the major step to minimise the amount of the absorbed dose in healthy tissue and critical structure in the field (Jeraj et al., 2004). There are two appropriate ways to shape the beam field in radiation therapy. In modern radiotherapy, MLC (Multi-leaf Collimator or beam-limiting device) is used to obtain the conformal shaping of the radiation field and it is suitable for IMRT (inserted modulated radiotherapy) and conformal radiotherapy (Jeraj et al., 2004; Farajollahi, Bouzarjomehri, & Kiani, 2015). MLC is controlled by the computer and using them reduces the treatment time, transfers the treatment information, and provides a clean environment. However, they are not only expensive, but they have also complicated software for technicians (Taherkhani, Mohammadi, Saboori, & Changizi, 2010). Another method is using the shielding blocks which are placed under the primary collimator system and attached into the head of the treatment machine (Jeraj et al., 2004). In order to minimize the damage, to healthy tissue and reduce the potential side-effect of the radiation on living, must be used the shielding blocks with proper dimension and appropriate material (Tellili, Elmahroug, & Souga, 2017). Standard lead blocks in the clinic have a regular shape like cubic, pyramidal and cylindrical having thickness

¹ nyavuzkanat@beu.edu.tr

² hazalbr@gmail.com

*Corresponding Author

proportional with the energy of the incident photon (Farajollahi et al., 2015). However, it could be not suitable to use them due to the irregular shape of the tumour region inside the beam field of some patient. For this reason, the irregular shape of the shielding blocks depends on the cancer regions of each patient, must be formed individually in the hospital. Standard lead blocks have not beam divergent, therefore they produce higher penumbra compared to shielding block called Cerrobend alloy (Farajollahi et al., 2015). The penumbra area created with MLC is also generally reported to be larger than the penumbra region generated by Cerrobend (Taherkhani et al., 2010). Instead of standard lead blocks must be used mould blocks to exactly protect critical organs (Alkaya, Baş, Gürsoy, & Kemikler, 2000). In practice, it is not convenient to use pure lead as a moulding block due to its higher melting point (327 °C). Desirable shielding material should include lead (heavy metal) to absorb the radiation and should have a lower melting temperature for being practical during the clinical application. Lipowitz alloy, which was used in hospitals in the past, consists of 50% bismuth, 26.7% lead, 13.3% tin and 10% cadmium and has a low melting point. However, today Cerrobend alloy is used as a mould block and its lower melting point (only 95 °C). Cerrobend consists of 50% bismuth, 31.8% lead and 18.2% tin elements without cadmium because of its poison effects. Normal tissues or critical organs around the tumour and under the shielding blocks receive a lower radiation dose as a result of using Cerrobend blocks (Alkaya et al., 2000; Davis, & Reiner, 1995; Farajollahi et al., 2015). It is broadly making individual Cerrobend shielding blocks in our country and several countries, because of the rare of the accelerator with MLC and the other disadvantages of using MLC (Farajollahi et al., 2015). Therefore, these blocks are widely used in radiation oncology centres to protect normal tissues and critical organs (Taherkhani et al., 2010). Cerrobend block thickness is commonly chosen to reduce the dose under the block by 95-98% of the open beam dose (Farajollahi et al., 2015; Di Venanzio et al., 2015). In other words, the acceptable level of the radiation transmission for Cerrobend blocks is less than 5 percentages (Farajollahi et al., 2015). One experimental research in Iran was performed to compare the influence of the standard lead blocks and Cerrobends on the radiation dose for 23 different radiation field sizes at the depth from 0.5 to 20 cm (Farajollahi et al., 2015). As a result, there is no significant difference between standard lead block and Cerrobend shielding method in terms of the percent dose distribution of the photon beam on the central axis (Farajollahi et al., 2015). Furthermore, Cerrobend alloy is preferred to use in the clinics because of its lower melting point, more rigid at the room temperature, the high attenuation coefficient of the photon beam, non-toxicity, easy and fast fabrication technique. The electron beam therapy is commonly applied for treating skin, superficial tumours and the tumours at the depth of less than 0.5 cm under the skin (Chang et al., 2012). According to the shape of the tumour, electron beam collimator is generally achieved using standard Cerrobend block attached to the accelerator head (Di Venanzio et al., 2015). It is a challenge to calculate dose distribution under the protection block for electron beam therapy (because of the electron scattering changes with the alloy density and composition) (Chang et al., 2012). Wojcicka, Yankelevich, Werner and Lasher (2008) concluded that acceptable level of the transmission (5%) for Cerrobend blocks was not achievable with a standard thickness of the block for electron beam energies 18 MeV and greater, because of the bremsstrahlung production in Cerrobend alloy (Wojcicka et al., 2008). During the high energy electron beam treatment, it is required to use extra shielding to reduce the transmission level and providing better protection (Wojcicka et al., 2008).

In radiation therapy, a significantly important part of the planning process is accurately calculation of the radiation dose in the patient and absorbed dose distribution through the interested tissues and organs (Chang et al., 2012; Sarrut et al., 2014). Monte Carlo (MC) technique correctly provides the ionizing radiation transportation, dose and dose distribution in a complicated configuration such as detectors, Linear Accelerators (Linacs), and phantoms etc. (Chang, et al., 2012; Sarrut et al., 2014; Oliveira, Vieira, Santana, & Lima, 2013). Many algorithms, based on the Monte Carlo calculation over the last decade, improved with providing very encouraging results in terms of accuracy and more realistic results (Oliveira et al., 2013). MC simulation is good at the calculation of the energy deposition for various components in its sensitive volume which is the alternative of the ionizing chamber configuration (Perini et al., 2013). In the literature, there are many kinds of research about the determination of shielding material properties completed by MCNP-X simulation code

and compared with XCOM data (Perini et al., 2013; Reda, 2016; Tekin et al., 2018, Tekin, & Manici, 2017). Limited studies are fulfilled in Geant4 based GATE (Geant4 Application for Tomographic Emission) simulation to investigate new shielding materials. GATE simulation code is one of the open source Monte Carlo calculation software developed by international collaborations (URL-1, 2018). It is dedicated to the application field especially, medical physics, radiology, and radiotherapy (Sarrut et al., 2014). In today, GATE simulation is widely used in developing new medical devices, quality control protocols, and medical imaging systems etc. (Sarrut et al., 2014; Oliveira et al., 2013; URL-1, 2018; Aguwa, 2015). This research aims to provide better critical organs protection and avoid delivering unnecessary dose to healthy tissues or organs. In this study, a new designed Cerrobend block was made by adding the different number of the pure lead marbles into the Cerrobend mould. Radiation dose under the standard Cerrobend block was compared with the newly designed protection blocks to investigate of their shielding capacitance. Experimental measurements were carried out with Alcyon II model Co-60 teletherapy machine under the various field size by using Farmer type 0.6 cc ion chamber, PTW Unidos Dosimeter, and solid phantom in Dr. Abdurrahman Yurtaslan Ankara Oncology Training and Research Hospital. For comparison, the dose values were also obtained by using the Geant4 based GATE simulation program. The attenuation data of the common shielding materials are available at the National Institute of the Standards (NIST) XCOM (McAlister, 2018; Seenappa, Manjunatha, Chandrika, & Chikka, 2017; Mostafa, Issa, & Sayyed, 2017; Yorgun, 2019). Online software calculates the mass attenuation coefficient for alloy and mixture of the material (Erk, Altınsoy, Karaaslan, & Bora, 2016; Tarım, & Gürler, 2018; Ozyurt et al., 2018). In addition to the simulation, the values of the linear attenuation coefficient for each block were calculated from the XCOM software. Therefore, the simulated shielding properties were compared with experimental results and XCOM data values. According to the results, a newly designed shielding block (Block 7) could be preferred to accurately protect the critical organ or healthy tissues against the gamma radiation during the radiotherapy. In addition, more research could be carried out to investigate how changing the dose distribution under new designed Blocks in terms of the electron scattering in electron beam therapy.

2. Materials and Methods

2.1. Theoretical Calculation

2.1.1. Total Mass and Linear Attenuation Coefficient

When incoming gamma-rays passage through the material medium, photons undergo the several interactions with material such as photoelectric effect, Compton scattering, coherent and incoherent scattering and pair production. In theory, the best protection block (or shielding material) should be 100% absorbed the incoming radiation. However, in practice it is impossible, because the radiation attenuation decreases exponentially as described by the following equation and it is called Beer-Lambert law (Yavuzkanat, 2010);

$$I=I_0e^{-(\mu_m \cdot \rho \cdot x)} \text{ or } I=I_0e^{-(\mu \cdot x)} \quad (2.1)$$

Where I is the intensity of the gamma-ray after passing through the shielding block, I_0 incident gamma ray's intensity, μ_m is the mass absorption coefficient (cm^2/g), ρ is the density of the shielding material (g/cm^3) and x is the shielding thickness (cm). The total mass attenuation coefficient defines the interaction probability between incoming photons and the thickness of the shielding material. If the target material is mixture or compound, the mass attenuation coefficient could be calculated by the following equation according to the mixture law (Yavuzkanat, 2010);

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \sum W_i \left(\frac{\mu_i}{\rho_i} \right) \quad (2.2)$$

Where W_i is the weight fraction of and μ (cm^{-1}) represents the linear attenuation coefficient of the constituent element i^{th} .

2.1.2. The Mean Free Path

The mean free path (λ) is defined as the average distance at which the photon passes through the material before it collides. The linear attenuation coefficient (μ) is inversely proportional to the mean free path and is related as follows (Yavuzkanat, 2010);

$$\lambda_{(\text{mean free path})} = \frac{1}{\mu} \tag{2.3}$$

2.1.3. Absorbed Dose in GATE

Absorbed dose, D , is defined as the deposited energy per unit mass of the material in units of Gray (1Gy=1 J/kg) (Sarrut et al., 2014). In Monte Carlo calculation deposited energy, E_{dep} , in a volume is generally expressed in eV (1eV =1.60217x10⁻¹⁹ J) (Sarrut et al., 2014; URL-1, 2018). According to the medium volume (V) and density (ρ), deposited energy converts to the Gray (Gy) as expressed in the following equation (Sarrut et al., 2014; URL-1, 2018),

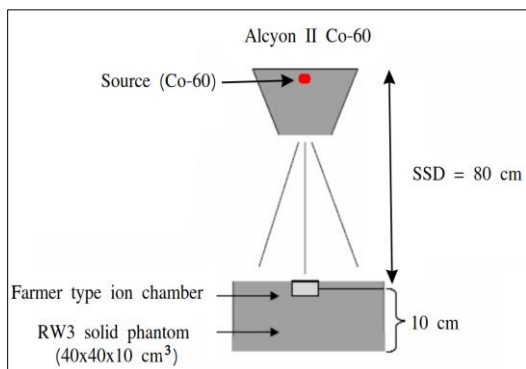
$$D = \frac{E_{\text{dep}} \cdot 1.60217 \times 10^{-19}}{\rho \cdot V} \tag{2.4}$$

Though absorbed dose does not reflect the biological effects of the radiation, it is the first step toward the assessment of the biological impact. Absorbed dose in a given volume in a 3D matrix is stored by “DoseActor” mechanism which has to be attached with interested volume. Deposited energy and absorbed dose are calculated by the Actor in the unit of MeV and Gy respectively.

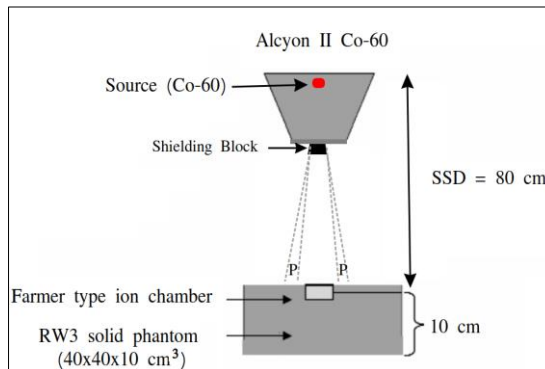
2.2. Experimental and Simulated Methods

2.2.1. Experimental Set-up and Measurement

Experimental measurements were performed in Alcyon II model Co-60 teletherapy machine with 0° gantry and collimator angles. The room temperature and pressure were measured as 20 degrees and 1013 mbar respectively. The correction factor was set to one to find the absorbed dose. In Figure 1.(a), it is shown the experimental set-up for unblocked open field radiation dose measurement to find the incident radiation intensity before the interaction with the shielding material. As seen in Figure 1.(b), the shielding block tray was set to in front of the Co-60 machine primary collimator to investigate the influence of different shielding blocks on the central axis dose.



(a)



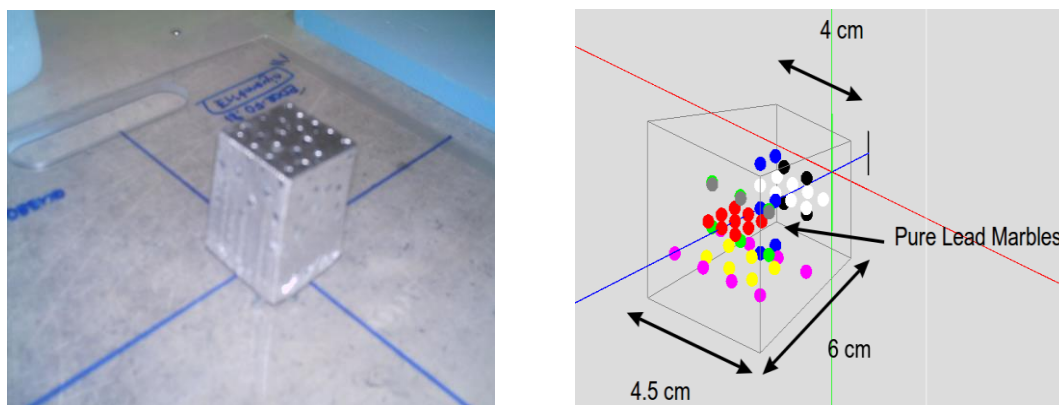
(b)

Figure 1. (a) unblocked open field measurement set-up which is completed to find out the incident radiation intensity (I_0) before the interaction with shielding material (Yavuzkanat, 2010; Kürem, 2020). (b) Experimental set-up of the radiation dose measurement to investigate the influence of the different shielding blocks on the central axis dose distribution. P areas are called penumbra due to the block divergent.

Farmer-2571 type detector (ion chamber), with 6.3 mm inner diameter and 0.6 cm^3 active volume, was put inside the solid phantom. RW3 solid phantom with 1.045 g/cm^3 density and $40 \times 40 \times 10 \text{ cm}^3$ volume, was placed on the treatment couch with its central axis set perpendicular to the beam axis. Ionization chamber was positioned at 80 cm, which is the standard treatment distance of Co-60 machine, and called SSD (Source to Surface Distance). Measurements were completed for nine different radiation field sizes from 4×4 to $20 \times 20 \text{ cm}^2$.

2.2.2. Preparation of the Shielding Blocks

Seven different blocks were designed with similar geometrical shape (the truncated square pyramid) having 6 cm thickness and similar blocks are also modelled in Geant4 based GATE simulation program as shown in Figure 2.



(a) Prepared cerrobend block.

(b) Simulated cerrobend block.

Figure 2. The truncated square pyramid shape of the Cerrobend blocks with 6 cm thickness. Pure lead marbles were randomly added into the hot liquid Cerrobend metal for each different shielding block from Block 2 to 7 as given in Table 1. Block 1 is made without lead marbles. (a) Prepared Cerrobend block with adding 60 pure lead marbles into the Cerrobend alloy (Yavuzkanat, 2010; Kürem, 2020). (b) The same block visualizes in the GATE simulation program.

The outline of the block shape was transferred to the computer and then, Styrofoam cutting system cut the styrofoam automatically. Hot liquid Cerrobend metal was poured inside the styrofoam casting, then waited until completely cool down. Styrofoam was broken and cold blocks were designed with steep edges to make a similar to the beam divergent. The top and base side lengths of the truncated pyramid were 4 and 4.5 cm respectively because of the source divergent. Each block was attached to the Plexiglas tray in order to insert into the head of the Co-60 machine. Block1 was made without adding lead marbles and other blocks were formed with marbles putting randomly into the Cerrobend increasing by ten as listed in Table 1. The chemical and physical properties of the Cerrobend alloy were also determined inside the GATE simulation material file according to the GEANT4 format. The lead marbles were placed inside the Cerrobend volume (truncated square pyramid) defined in the world and the number of the marbles was increased ten by ten from Block 2 to Block 7 similar to experiment. In Figure 2 (b), sixty lead marbles were randomly inserted inside the truncated square pyramid volume defined as a Cerobend alloy. Eight different shielding blocks were determined in the GATE simulation.

Table 1

Blocks were formed by adding different number of lead marbles (from 10 to 60) in the experiment and GATE simulation. The marbles were randomly put into hot Cerrobend mould.

	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6	Block 7
Number of marbles	No marbles	10	20	30	40	50	60

2.2.3. Gamma-ray Transmission Measurement and Simulation for Various Radiation Field

Source to surface distance was fixed to 80 cm. The various regular radiation field sizes were used from 4x4 to 16x16 cm². Incident radiation dose (I_0) for every field size was measured without shielding block to determine the open field radiation dose. Then each different block for every field size was used to find out how the effect incoming radiation by the number of the pure lead marbles. Furthermore; experimental conditions and all the volumes were defined in the GATE simulation program as shown in Figure 3.

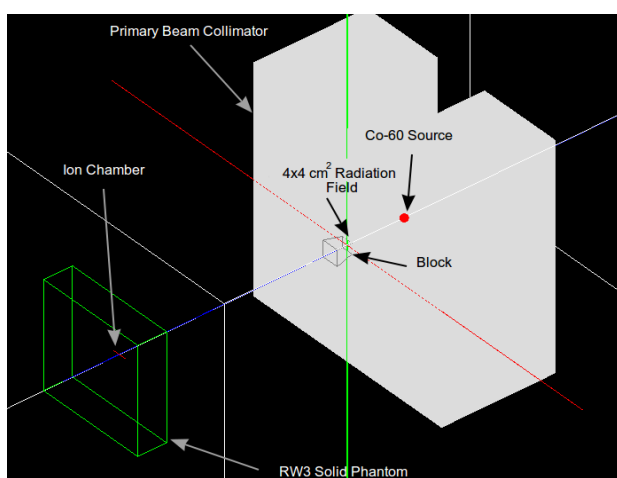


Figure 3. The visualization of the simulation setup and all the volumes were described in GATE. Solid phantom with ion chamber and cylindrical isotropic Co-60 radioactive source with primary beam collimator were shown in the figure. Before the shielding block, the radiation field at 4x4 cm² field size was opened by positioned primary collimator.

The volume of the Cobalt-60 source was described by a cylinder with 1.5 diameters and 1 cm length as illustrated in Figure 3 (in red colour) (Joshi, Darko, Vidyasagar, & Schreiner, 2008; Han, Ballon, Chui, & Mohan, 1987). The simulation was run with a discreet spectrum instead of the radioactive source decay for Co-60 (1.3325 MeV and 1.1732 MeV gamma rays) in order to speed up the simulation time. Solid Phantom volume was attached to the dose actor with 20x20x101 mm³ voxel size to obtain precisely dose output in a Gy unit. After defining volumes, source, and physics list, lastly the data output was defined as a txt format in DoseActor. In any Geant4 simulation, sensitive detector concept allows the record the information regarding the interaction between particle and medium (called hits) (Perini et al., 2013; Ozyurt et al., 2018). In this simulation, solid phantom was determined as a sensitive volume.

3. Results and Discussion

Experimental and GATE simulation results were tabulated in Table 2. Each measurement during the experiment was repeated three times and the error was obtained not more than 0.1%. In the simulation, three times data acquisition were achieved by using random number seeds. The average value and the standard deviation were calculated as given in Table 2. Seven different shielding blocks were used to investigate the influence of the number of the pure lead marbles on the radiation dose. It can be clearly seen in Figure 4 that

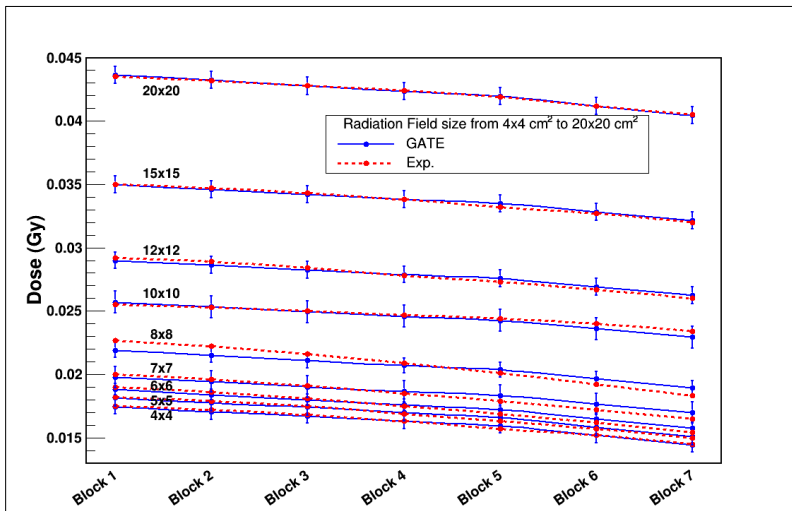
the trends of the measured and simulated dose for each different field size depend on the concentration of the lead marbles within Cerrobend alloys.

Table 2

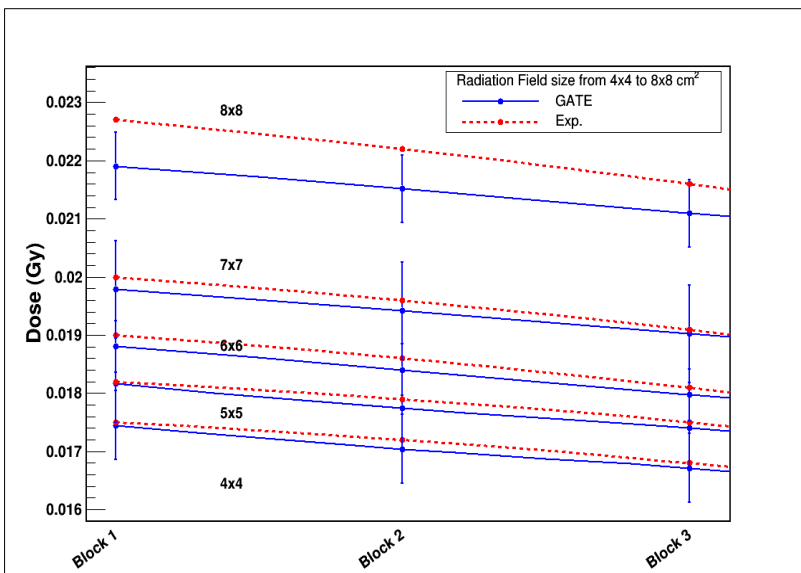
Dose values for each block at the various radiation field sizes, experimental and simulated results. The differences between simulated and measured values were calculated less than 3%.

Field Size (cm ²)	Incoming Radiation Dose, I ₀ (Gy)	Block 1 (Gy)	Block 2 (Gy)	Block 3 (Gy)	Block 4 (Gy)	Block 5 (Gy)	Block 6 (Gy)	Block 7 (Gy)
4x4	Exp.	0.5107	0.0175	0.0172	0.0168	0.0163	0.0157	0.0145
	GATE	0.51165 ±0.00244	0.01745 ±0.00059	0.01704 ±0.00059	0.01671 ±0.00059	0.01630 ±0.00059	0.01594 ±0.00059	0.01519 ±0.00059
5x5	Exp.	0.5227	0.0182	0.0179	0.0175	0.0169	0.0163	0.0150
	GATE	0.52038 ±0.00380	0.01816 ±0.00067	0.01774 ±0.00067	0.01741 ±0.00067	0.01698 ±0.00067	0.01661 ±0.00067	0.01584 ±0.00067
6x6	Exp.	0.5297	0.0190	0.0186	0.0181	0.0175	0.0169	0.0154
	GATE	0.53124 ±0.00348	0.01880 ±0.00044	0.01841 ±0.00044	0.01797 ±0.00044	0.01758 ±0.00044	0.01723 ±0.00044	0.01650 ±0.00044
7x7	Exp.	0.5360	0.0200	0.0196	0.0191	0.0185	0.0179	0.0165
	GATE	0.53223 ±0.00112	0.01978 ±0.00083	0.01942 ±0.00083	0.01902 ±0.00083	0.01865 ±0.00083	0.01833 ±0.00083	0.01765 ±0.00083
8x8	Exp.	0.5425	0.0227	0.0222	0.0216	0.0209	0.0201	0.0183
	GATE	0.53985 ±0.00234	0.02191 ±0.00058	0.02152 ±0.00058	0.02109 ±0.00058	0.02072 ±0.00058	0.02036 ±0.00058	0.01964 ±0.00058
10x10	Exp.	0.5547	0.0255	0.0253	0.0250	0.0247	0.0244	0.0234
	GATE	0.55812 ±0.00247	0.02569 ±0.00086	0.02533 ±0.00086	0.02494 ±0.00086	0.02457 ±0.00086	0.02426 ±0.00086	0.02359 ±0.00086
12x12	Exp.	0.5655	0.0292	0.0289	0.0284	0.0278	0.0273	0.0260
	GATE	0.56704 ±0.00171	0.02899 ±0.00066	0.02864 ±0.00066	0.02825 ±0.00066	0.02788 ±0.00066	0.02757 ±0.00066	0.02691 ±0.00066
15x15	Exp.	0.5805	0.0350	0.0347	0.0343	0.0338	0.0332	0.0320
	GATE	0.58491 ±0.00338	0.03498 ±0.00067	0.03461 ±0.00067	0.03420 ±0.00067	0.03383 ±0.00067	0.03350 ±0.00067	0.03282 ±0.00067
20x20	Exp.	0.5977	0.0435	0.0432	0.0428	0.0424	0.0419	0.0405
	GATE	0.59753 ±0.00303	0.04366 ±0.00062	0.04323 ±0.00062	0.04277 ±0.00062	0.04235 ±0.00062	0.04198 ±0.00062	0.04120 ±0.00062

It is also obviously seen from these figures that increasing radiation field size increase the radiation dose from 0.0175 to 0.0436 Gy. The result obtained from the GATE simulation are entirely consistent with the experimental result except 8x8 cm² radiation field size as showing detail in Figure 4 (b). In that field size there is a little difference between simulation and measurement. However, the percentage error differences between measurement and simulation are never calculated more than 3.5%. The technical specification document of the external beam gamma teletherapy system (for Co-60 machine) was defined the field size error for collimator as ± 2 mm (Technical Specifications External Beam Data). Changing the field size in the simulation by 0.1 mm varies the radiation dose from 0.02182 to 0.02191 Gy. Therefore, the difference between simulated data and measurement for 8x8 cm² radiation field size must be about the inaccuracy of the machine collimator.



(a)



(b)

Figure 4. Comparison between experiment and GATE simulation results in different blocks and various radiation field sizes. Blue points and lines with standard deviation were acquired from the GATE simulation and red points and dash lines were represent experimental values. (a) Calculated and measured radiation doses for different blocks and field size from 4x4 to 20x20 cm² (b) the dose for 8x8 cm² field size as shown in detail. It is not completely consistent in simulation value (for 8x8 cm² field size) because of the inaccuracy of the Co-60 machine collimator.

The variation of the unblocked radiation dose (open field dose) values versus the radiation field size from 4x4 to 20x20 cm², are presented in Figure 5. It can be seen in this figure that measured and simulated dose varies with the radiation field size squared. The simulated data are entirely consistent with the experimental result.

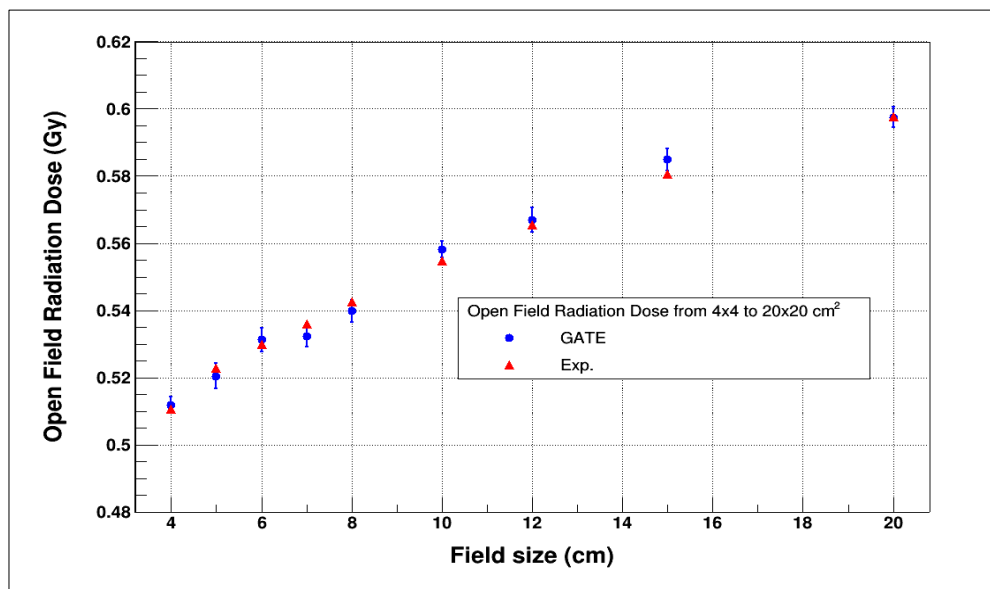


Figure 5. Comparison between experiment and GATE simulation results of the unblocked radiation dose versus to various field sizes from 4x4 to 20x20 cm². The blue points represent GATE simulation with standard deviation and red points indicate the experimental values.

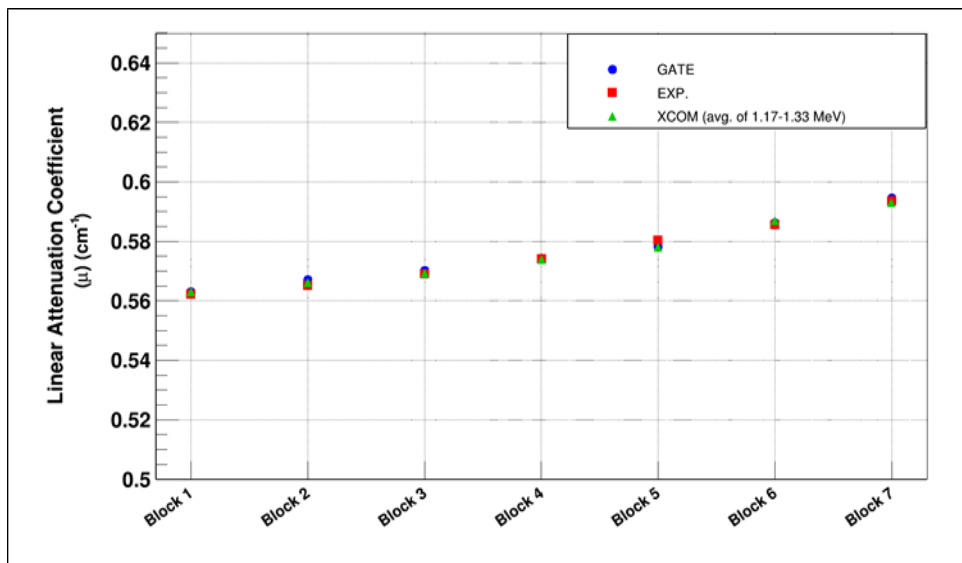
Evaluated linear attenuation coefficient of the blocks are given in Table 3 for 4x4 cm² radiation field size to compare simulation, measurement and theoretical values of μ and λ .

Table 3

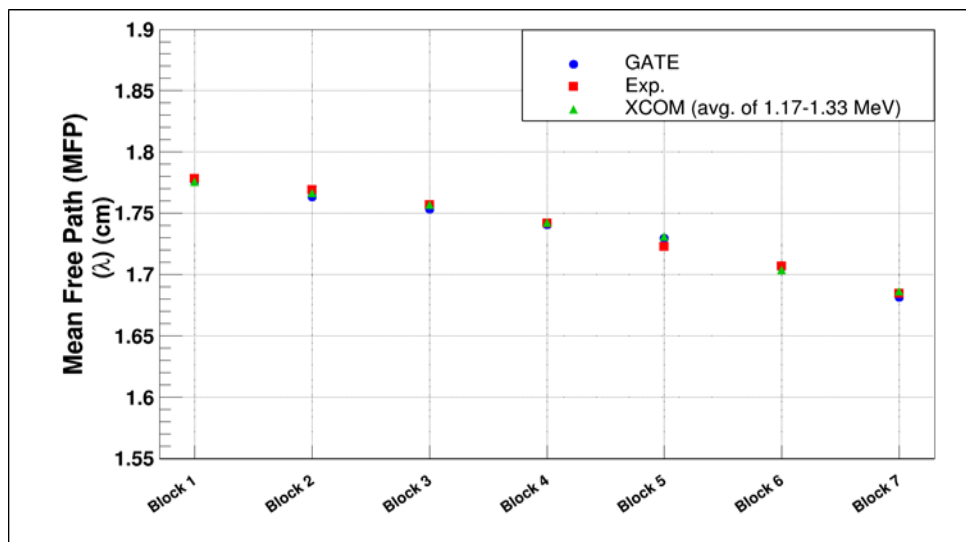
The linear attenuation coefficients and MFP for various blocks are evaluated from simulation, experimental and theoretical results.

Blocks	μ_{xcom} (avg. of 1.17 MeV and 1.33 MeV)(cm ² /g)	$\mu_{exp.}$ (cm ² /g)	μ_{GATE} (cm ² /g)	λ_{xcom} (cm)	$\lambda_{exp.}$ (cm)	λ_{GATE} (cm)
Block 1	0.5631	0.5623	0.5630	1.7759	1.7784	1.7762
Block 2	0.5661	0.5651	0.5670	1.7665	1.7696	1.7637
Block 3	0.5692	0.5691	0.5702	1.7569	1.7572	1.7538
Block 4	0.5739	0.5741	0.5744	1.7425	1.7419	1.7409
Block 5	0.5781	0.5804	0.5781	1.7313	1.7229	1.7298
Block 6	0.5869	0.5857	0.5862	1.7039	1.7074	1.7059
Block 7	0.5929	0.5936	0.5946	1.6866	1.6846	1.6818

The theoretical calculation of the linear attenuation coefficient was determined from XCOM software via using the average values at two different gamma energies (1.17 and 1.33 MeV). Experimental, theoretical and GATE simulation findings are good agreement with each other. Besides, the variation of the linear attenuation and mean free path (MFP) with different shielding blocks are shown in Figure 6 (a and b respectively). It is obviously seen that measured and simulated values are identical with theoretical calculation (XCOM).



(a)



(b)

Figure 6. The comparison of simulation, experiment and theoretical values of (a) the linear attenuation coefficients (μ) and (b) mean free path (λ) for different types of blocks. Blue, red and green points represent simulation, measurement and theoretical values respectively.

In Figure 7, there is a comparison of simulation and experimental results of absorbed dose percentage for various shielding blocks at 4x4 cm² field size. The values of the absorbed dose percentage obtained from simulation and experiment are also compared with the pure lead block. In the simulation, the truncated square pyramid volume at the same dimension of the other blocks is defined with lead material. Calculated absorbed dose for pure lead shielding block is represented with black bars in the bar chart. It can be observed in this chart that absorbed dose increases with adding more lead marbles. As a result of that the absorbed dose of Block 7 is close to lead block's absorption level. It is also clearly seen in Figure 7 that the absorbed dose is highest at Block 7 which includes 60th pure lead marbles.

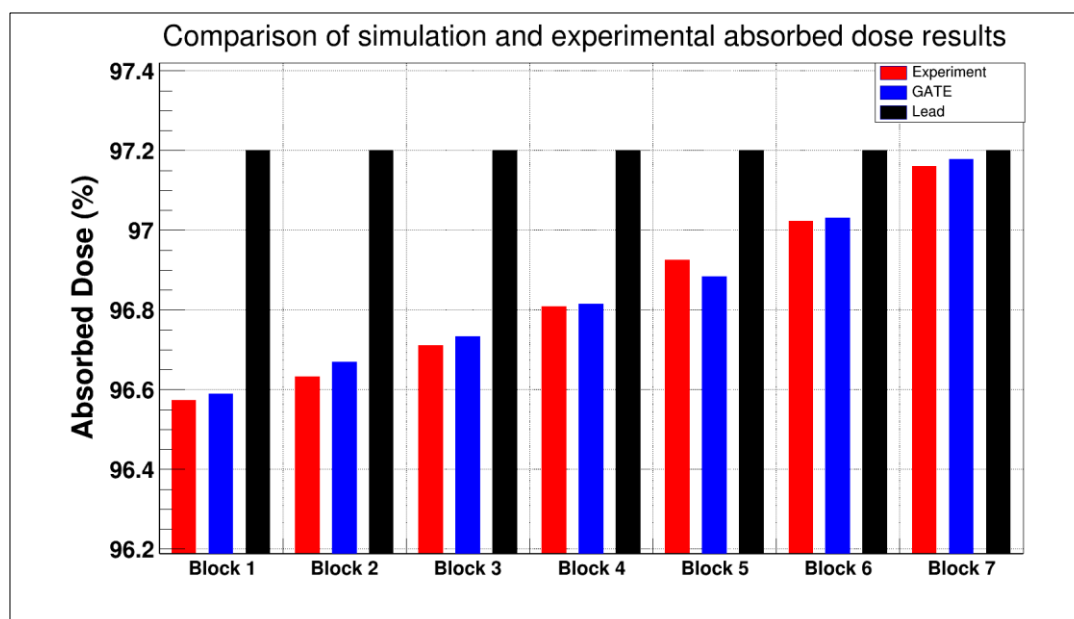


Figure 7. The comparisons of simulation and experimental absorbed dose percentage of different blocks for 4x4 cm² field size. Red bars represent measurements and blue bars indicate the GATE simulation results for each different block. Lead shielding block is defined similar geometrical shape with Cerrobend block in the simulation. The absorbed dose percentage of the lead block is shown in the bar chart with black bars.

4. Conclusion

This work presents simulation, experimental, and theoretical determination of linear attenuation coefficient and free mean path for different shielding blocks. The obtained results of simulation and experimental conclude in a perfect agreement with XCOM values. It can be seen the attenuation coefficient calculated from XCOM, GATE code and experiment are identical for all block samples. Block 7 has higher value of μ , lower value of MFP (λ) and higher value of the absorbed dose in percentage. It means that this block absorbs the gamma radiation more than Block 1, which is the standard Cerrobend shielding alloy commonly used in radiation therapy application. The effectiveness of shielding block used in radiotherapy will increase in the following order; Block 1 < Block 2 < Block 3 < Block 4 < Block 5 < Block 6 < Block 7. It is also concluded that Cerrobend alloy with 60 pure lead marbles absorbs the maximum amount of gamma rays, which is close to pure lead block's absorption. Pure lead blocks are not practical to use in the clinics because of its higher melting points. There are many advantages to use Cerrobend alloy such as its low melting temperature, easy moulding, ease of shaping to minimize the dose outside of the treatment area, generating narrow penumbra region, low cost, and reused. This study shows that these new designed of the shielding blocks for gamma rays absorption as good as absorbed dose by lead block. It is also easy to use in the hospital conditions. In a conclusion, Block 7 can be proposed as a shielding block to provide accurately protection of the critical organs or systems inside the radiation field. New designed protection block is not only useful for radiotherapy, but it could be also used as a building material in the nuclear field, industrial field and high-energy radiotherapy facility.

Acknowledgement

Special thanks to Prof. Ayşe KAŞKAŞ for the useful hints and suggestions.

Author Contributions

Nuray Yavuzkanat: Modeling GATE simulation, analysing data and wrote the paper.

Hazal Burcu Saraç Kürem: Modelling part of the GATE simulations and collecting data.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Aguwa, K. (2015). Radiation dose study in nuclear medicine using gate. *Master Thesis* The University of Arizona, USA. Retrieved from: <https://www.optics.arizona.edu/sites/optics.arizona.edu/files/kasarach-aguwa-thesis.pdf>
- Alkaya, F., Baş, M., Gürsoy, T. O., & Kemikler, G. (2000). The effects of shielding blocks on dosimetry during cobalt teletherapy on irregular thorax and mediasten areas. *Ankara University Tıp Fakültesi Mecmuası*, 53(2), 113-119. Retrieved from: http://cms.galenos.com.tr/Uploads/Article_19110/AUTFM-53-113-En.pdf
- Chang, S., Zhang, Y., Dong, Y., Zhang, H. & Dai, Y. (2012). A novel cerrobend block in the radiation therapy. *Science China Technological Sciences*, 55(1), 22-27. <https://doi.org/10.1007/s11431-011-4559-x>
- Davis, J. B., & Reiner, B. (1995). Depth dose under narrow shielding blocks: a comparison of measured and calculated dose. *Radiotherapy and Oncology* 34, 219-227. [https://doi.org/10.1016/0167-8140\(95\)01523-J](https://doi.org/10.1016/0167-8140(95)01523-J)
- Di Venanzio, C., Marinelli, M., Tonnetti, A., Verona-Rinati, G., Bagala, P., Falco, M. D., Guerra, A. S. & Pimpinella, M. (2015). Comparison between small radiation therapy electron beams collimated by Cerrobend and tubular applicators, *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 16(1), 329-334. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v16i1.5186>
- Erk, İ., Altınsoy, N., Karaaslan, Ş. İ., & Bora, A. (2016). Determination of Photon Mass Attenuation Coefficient for Some Phantom Materials using GATE Code and Comparison with Experimental and XCOM Data, *International Journal of Nuclear and Radiation Science and Technology*, 1(2), 11-13. Retrieved from: <https://iakkurt.dergipark.gov.tr/ijnurasat>
- Farajollahi, A. R., Bouzarjomehri, F. & Kiani, M. (2015). Comparison between Clinically Used Irregular Fields Shielded by Cerrobend and Standard Lead Blocks. *Journal of Biomed Physics and Engineering*, 5(2), 77-82. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4479389/>
- Han, K., Ballon, D., Chui, C. & Mohan, R. (1987). Monte Carlo simulation of a cobalt 60 beam. *Technical reports Medical Physics*, 14(3), 414-419. <https://doi.org/10.1118/1.596120>
- Jeraj, M. & Robar, V. (2004). Multileaf collimator in radiotherapy. *Radiology and Oncology*, 38(3), 235-240. Retrieved from: <https://www.radioloncol.com/index.php/ro/article/view/1335>
- Joshi, C. P., Darko, J., Vidyasagar, P. B., & Schreiner, L. J. (2008). Investigation of an efficient source design for Cobalt-60-based tomotherapy using EGSnrc Monte Carlo simulations. *IOP Publishing, Physics in Medicine and Biology*, 53, 575–592. Retrieved from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/53/3/005/meta>
- Khan, F. M. (2003). *The Physics of Radiation Therapy*. A Wolters Kluwer Company, (3) 154, 160-162, 273-276, Minneapolis, Minnesota.
- Kürem, H. B. S. (2020). The comparison of gamma-rays transmissions between measurement and simulation obtained with the protective blocks developed as an alternative to the cerrobend blocks used in radiotherapy. *Published Master Thesis*, Bitlis Eren University, Physics Department, Bitlis, Turkey. Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- McAlister, D. (2018). Gamma ray attenuation properties of common shielding materials. *PhD Thesis*, PG Research Foundation, Inc. 1955 University Lane Lisle, IL 60532, USA. Retrieved from: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/918077/mod_resource/content/1/gamma%20ray%20attenuation.pdf
- Mostafa, A. M. A., Issa, S. A. M. & Sayyed, M. I. (2017). Gamma-ray shielding properties of PbO-B₂O₃-P₂O₅ doped with WO₃. *Elsevier Journal of Alloys and Compounds*, 708, 294-300. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.02.303>

- Oliveira, A. C. H., Vieira, J. W., Santana, M. G., & Lima, F. R. A. (2013). Monte Carlo Simulation of a Medical Linear Accelerator for Generation of Phase Spaces. *International Nuclear Atlantic Conference - INAC*. Retrieved from: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/015/46015552.pdf
- Ozyurt, O., Altinsoy, N., Karaaslan, Ş. İ., Bora, A., Büyük, B., & Erk, İ. (2018). Calculation of gamma ray attenuation coefficient of some granite samples using a Monte Carlo simulation code. *Radiation Physics and Chemistry*, 144, 271-275. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.08.024>
- Perini, A. P., Neves, L. P., Fernandez-Varea, J. M., Büermann, L. & Caldas, L. V. E. (2013). Evaluation and Simulation of a New Ionization Chamber Design for use in Computed Tomography Beams *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 60(2), 768-773. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6428665>
- Reda, S. M. (2016). Gamma ray shielding by a new combination of aluminium, iron, copper and lead using MCNP5”, *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, 94(4), 211-217. Retrieved from: [http://www.esnsa-eg.com/download/researchFiles/\(23\)%20%20%20%20%20116-15.pdf](http://www.esnsa-eg.com/download/researchFiles/(23)%20%20%20%20%20116-15.pdf)
- Sarrut, D., Bardies, M., Bousson, N., Freud, N., Jan, S., Letang, J.M., Loudos, G., Maigne, L., Marcatili, S., Mauxion, T., Papadimitroulas, P., Perrot, Y., Pietrzyk, U., Robert, C., Schaart, D., Visvikis, D. & Buvat, I. (2014). A review of the use and potential of the GATE Monte Carlo simulation code for radiation therapy and dosimetry applications. *Medical Physics*, 41(6), 1-14. <https://doi.org/10.1118/1.4871617>
- Seenappa, L., Manjunatha, H. C., Chandrika, B. M., & Chikka, H. (2017). A Study of Shielding Properties of X-ray and Gamma in Barium Compounds. *Journal of Radiation Protection and Research*, 42(1), 26-32. <https://doi.org/10.14407/jrpr.2017.42.1.26>
- Simon, R. C., Sorenson, J. A. & Michael, E.P. (1980-2012). Physics in Nuclear Medicine. *Fourth Edition*, Saunders, An imprint of Elsevier Inc.
- Taherkhani, A., Mohammadi, M., Saboori, M. S., & Changizi, V. (2010). Evaluation of the physical characteristic of Cerrobend blocks used for radiation therapy. *International Journal of Radiation Research*, 8(2), 93-101. Retrieved from: <http://ijrr.com/article-1-622-en.pdf>
- Tarım, U. A., & Gürler, O. (2018). Application of Monte Carlo Method for Gamma ray Attenuation Properties of Lead Zinc Borate Glasses. *Sakarya University Journal of Science*, 22(6), 1848-1852. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.443765>
- Technical Specifications of External Beam Gamma Teletherapy System. *Best Theratronics*. Retrieved from: http://www.theratronics.ca/PDFs/BT_GB_100-80_tech_specs.pdf
- Tekin, H. O., Ergüzel, T. T., Sayyed, M. I., Singh, V. P., Manıcı, T., Altunsoy, E. E. & Agar, O. (2018). An investigation on shielding properties of different granite samples using MCNPX Code. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 13(2), 381-389. Retrieved from: <https://hdl.handle.net/11492/2641>
- Tekin, H. O. & Manıcı, T. (2017). Simulations of mass attenuation coefficients for shielding materials using the MCNP-X code. *Nuclear Science and Techniques*, 28(95), 1-4. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41365-017-0253-4>
- Tellili, B., Elmahroug, Y., & Souga, C. (2017). Investigation on radiation shielding parameters of cerrobend alloys. *Nuclear Engineering and Technology*, 49,1758-1777. <https://doi.org/10.1016/j.net.2017.08.020>
- URL-1 Open Gate Collaboration, Users Guide V8. Retrieved from: <http://www.opengatecollaboration.org/>
- Wojcicka, J. B., Yankelevich, R., Werner, B. L., & Lasher, D. E. (2008). Technical Note: On Cerrobend shielding for 18-22 MV electron beams. *Medical Physics*, 35(10), 4625-4629. Retrieved from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18975708/>
- Yavuzkanat, N. (2010). The Comparison of Gamma-Rays Transmissions of Shielding Blocks with Lead Marbles and Shielding Blocks used in Radiotherapy. *Published Master Thesis*, Ankara University, Physics Department, Ankara, Turkey. Retrieved from: <https://www.ulusaltezmerkezi.net/radyoterapide-kullanilan-koruyucu-bloklar-ile-kursun-bilye-ilaveli-koruyucu-bloklar-in-gama-isini-gecirgenliklerinin-karsilastirilmesi/>
- Yorgun, N. Y. (2019). Gamma-ray Shielding Properties of Lithium Borate Glass Doped with Colemanit

Mineral. *BEU Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3), 762-771.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlisfen/issue/49103/525527>



Sındırgı Fayı ve Düvertepe Fay Zonu Yakın Civarının Kinematik ve Sismotektonik Özellikleri: Batı Anadolu (Türkiye)

Erdem Gündoğdu^{1*}, Süha Özden², Tolga Bekler³

¹Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Çan Meslek Yüksekokulu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

²Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

³Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 22.11.2019

Kabul: 09.10.2020

Yayın: 29.12.2020

Araştırma Makalesi

Öz – Bu çalışmada; toplam 7 segmentten oluşan Simav Fay Zonu'nun Sındırgı Segmenti ile bu fayın kuzeyinde yer alan Düvertepe Fay Zonu ve civarının kinematik ve sismotektonik özellikleri incelenmiştir. 21 istasyondan, toplam 160 fay düzleminden oluşan kinematik analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, belirlenen 4 farklı tektonik rejim yaşlıdan gence doğru sırasıyla; (i) transtansiyonel özellik sunan (SS1a), (σ_1)=231°/20°, (σ_3)=297°/24°, Rm=0.340 olarak hesaplanan ve sıkışmanın (σ_1)=K51°D olduğu, (ii) normal faylarla temsil edilen (SS1b), (σ_3)=312°/11° olarak hesaplanan ve sıkışmanın (σ_1)=K59°B olduğu (iv) en genç tektonik rejim türü olan, normal faylarla temsil edilen (SS3), (σ_3)=233°/8° olarak hesaplanan ve genişleme yönünün (σ_3)=K53°D olduğu rejimdir. Bu rejim türleri (deformasyon evreleri) birbirinde ayırt edilirken; kinematik analiz sonucundan elde edilen asal gerilme eksenlerinin yönleri, asal gerilme eksenleri arasındaki oranlar, sahada birbirini üzerleyen fay düzlemi verileri, birbirini kesen fay-atım verileri, sahadaki orta-büyük ölçekli yapılar, benzer ve aynı yaştaki sahalarda yapılan karşılaştırmalar, Batı Anadolu'nun jeodinamik evrimi, bu konuda yapılmış olan benzer çalışmalarla yapılan karşılaştırmalar kullanılmıştır. En genç tektonik rejim türü olan SS3'ün, günümüzde etkin olduğunun bir diğer kanıtı ise, son yıllarda meydana gelen depremlerin odak (faylanma) mekanizması çözümleridir. Çalışma alanında meydana gelen 12 depremin odak mekanizması çözümlerine göre, (σ_3)=211°/2°, bölgedeki genişleme yönünün (σ_3)=K31°D olduğu şeklindedir. Bu veri, günümüzde KKD-GGB yönünde bir genişleme rejiminin baskın olduğunu göstermektedir. Bu durum, günümüzde Batı Anadolu'da etkin olan genişleme rejiminin yönleriyle de uyum içindedir.

Anahtar Kelimeler – Düvertepe fay zonu, genişleme rejimi, kinematik analiz, Batı Anadolu, odak mekanizma çözümü, Sındırgı fayı

Kinematic and Seismotectonic Properties of Sındırgı Fault and Düvertepe Fault Zone Surroundings: West Anatolia (Turkey)

¹Department of Mining and Mineral Extraction, Çan Vocational School, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

²Department of Geological Engineering, Faculty of Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

³Department of Geophysical Engineering, Faculty of Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 22.11.2019

Accepted: 09.10.2020

Published: 29.12.2020

Research Article

Abstract - In this study; Sındırgı Segment of the Simav Fault Zone consisting of 7 segments and Düvertepe Fault Zone and its vicinity located to the north of this fault, Its kinematic and seismotectonic properties have been studied. From 21 stations, kinematic analysis results for a total of 160 fault planes were assessed together and 4 different tectonic regimes were determined from older to younger as; (i) (SS1a) with transtensional features, (σ_1)=231°/20°, (σ_3)=297°/24°, Rm=0.340 calculated and compression (σ_1)=N51°E regime; (ii) (SS1b) with normal faulting (σ_3)=312°/11° calculated and extensional direction (σ_3)=N48°W regime; (iii) (SS2) with transpressional features (σ_1)=301°/15°, (σ_3)=237°/17°, Rm=0.612 calculated and compression (σ_1)=N59°W regime; and (iv) the youngest tectonic regime observed in the study area represented by normal faulting (SS3), (σ_3)=233°/8° calculated and extension direction (σ_3)=N53°E regime. While these tectonic regime types (deformation phases) are distinguished from each other; the directions of the principal stress axes obtained from the kinematic analysis result, ratios between principal stress axes, fault plane data overlapping each other in the field, intersecting fault-slip data, medium to large scale structures on the field, comparisons with similar and same age fields, geodynamic evolution of Western Anatolia, comparisons made with similar studies on this subject used. Further evidence that the youngest tectonic regime of SS3 is currently effective is the focal mechanism solutions for earthquakes occurring in recent years. According to focal mechanism solutions for 12 earthquakes occurring in the study area (σ_3)=211°/2°, with the extensional direction in the region (σ_3)=N31°E. This data shows an extensional regime in NNE-SSW orientation is dominant currently. This situation complies with the extensional regime currently effective in W-SW Anatolia.

Keywords – Düvertepe Fault Zone, Extensional regime, kinematic analysis, West Anatolia, focal mechanism solutions, Sındırgı Fault

¹ erdem@comu.edu.tr

² ozden@comu.edu.tr

³ tbekler@comu.edu.tr

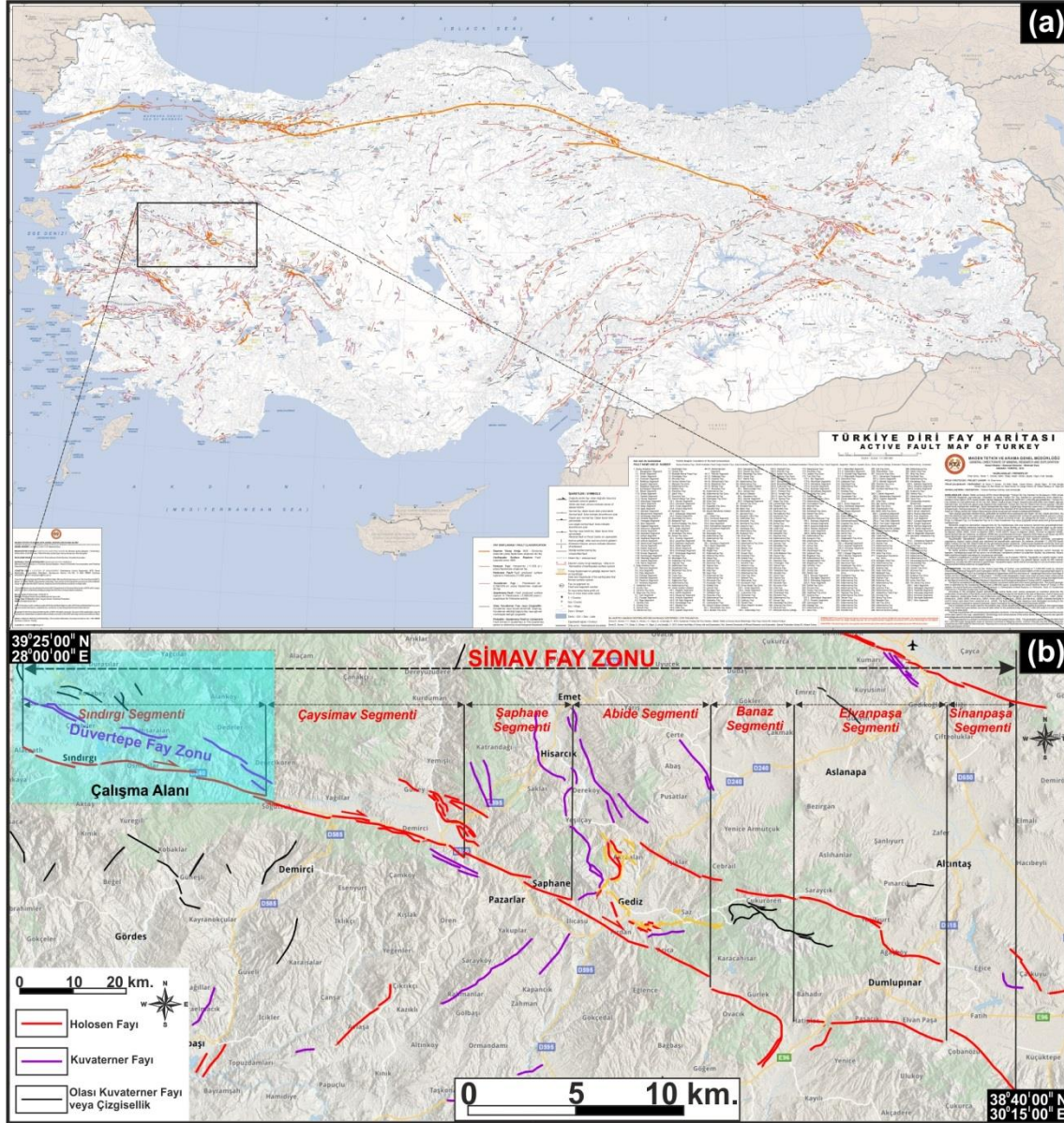
*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Başta güneybatı Akdeniz bölgesi (Türkiye, Yunanistan ve Ege Denizi) olmak üzere, Batı Anadolu kıtasal genişleme alanlarının geç Senozoyik yaşlı evriminin anlaşılmasında önemli bir rol oynamakta olup (Seyitoğlu ve Işık, 2006), kıta kabuğu alanlarında en önemli genişleme tektonik ürünleri ise metamorfik çekirdek kompleksleridir (Lister ve Davis, 1989; Malavieille, 1993). Batı Anadolu'da, Tersiyer'den itibaren etkin olan genişleme rejimi, Menderes masifinin kuzey kesiminde Alaşehir ve Simav sıyrılma faylarını meydana getirmiştir (Işık, Seyitoğlu ve Çemen, 2003). Bu sebepten dolayı Menderes Masifi, genişleme rejiminin etkilerini yaygın bir şekilde taşır (Işık, 2004).

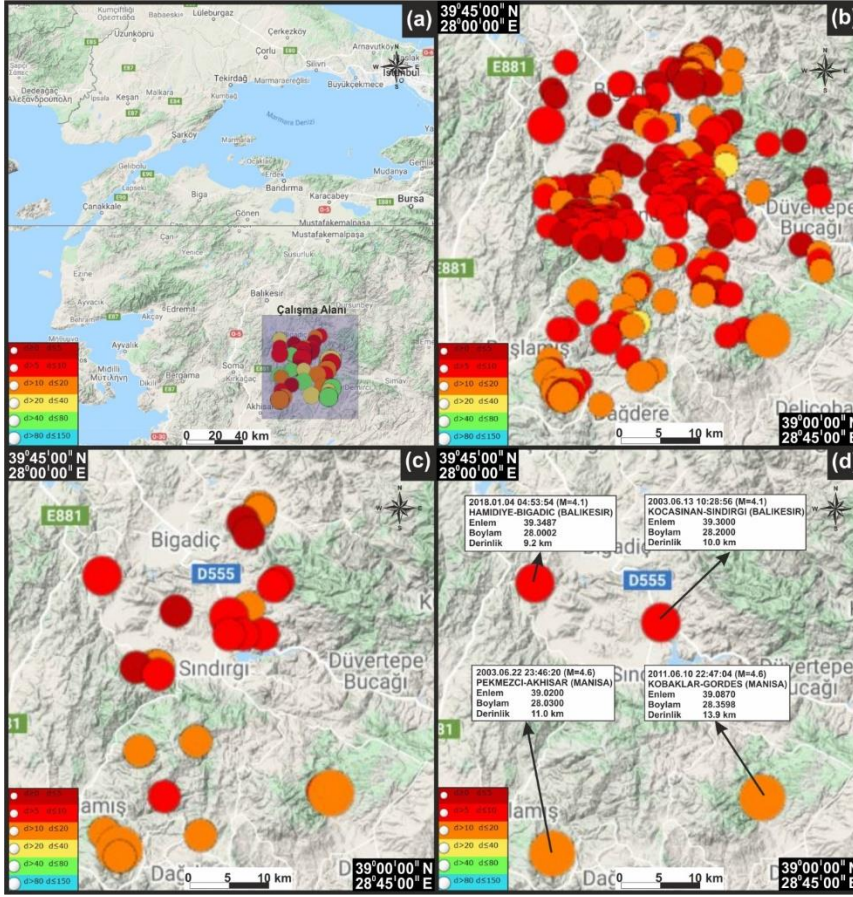
Yıllık 20 mm / yıl GPS hızı ile, Batı Anadolu horst-graben sistemi, dünyadaki en hızlı genişlemeli tektonik bölgelerden biri olup (Aktuğ vd., 2009), bu bölge kuzeyde sağ yanal doğrultu atımlı Simav fayı ve doğuda Burdur-Fethiye zonu ile sınırlıdır (Emre vd., 2018). Yaklaşık 215 km uzunluğundaki transtansiyonel sağ yanal doğrultu atımlı Simav fay zonu; genel olarak KB-GD yönünde bir uzanım sergilemekte olup (bkz. Şekil 1a), toplam 7 segmentten meydana gelmektedir (bkz. Şekil 1b). Bu segmentler, batıdan doğuya doğru sırasıyla; (i) Sındırgı Segmenti (35 km uzunluğunda, genel doğrultusu 267°-306°), (ii) Çaysimav Segmenti (54 km uzunluğunda, genel doğrultusu 277°-308°), (iii) Şaphane Segmenti (23 km uzunluğunda, genel doğrultusu 286°-312°), (iv) Abide Segmenti (33 km uzunluğunda, genel doğrultusu 287°-308°), (v) Banaz Segmenti (24 km uzunluğunda, genel doğrultuları 3°-359°), (vi) Elvanpaşa Segmenti (27 km uzunluğunda, genel doğrultusu 270°-298°) ve (vii) Sinanpaşa Segmenti (18 km uzunluğunda, genel doğrultusu 303°-323°)'dir (Emre vd., 2018).

Simav Fayı, Erken Miyosen'de sıkışma rejimi altında bir doğrultu atımlı fay karakteri sergilemiş, Kuvaterner'de ise genişlemeli tektonik rejime geçmiştir. Genişlemeli tektonik rejimin günümüzde de etkin olduğu deprem odak mekanizma çözümleri ile desteklemiştir (Gündoğdu vd., 2015). Bunun yanı sıra, Simav Fay Zonu'nda görülen gravite faylarının, doğrultu atım mekanizmasıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiği de savunulmuştur (Konak, 1982). Batı Anadolu'daki K-G genişleme rejimini en son ürünlerinden biri olan D-B gidişli Simav Grabeni, bir Pliyo-Kuvaterner yapı olup, genel gidişleri KD-GB olan Demirci, Selendi, Akdere havzalarını keser konumdadır ve grabenin güney kenarı aktif ve listrik şekilli bir fay olan Simav Fayı tarafından sınırlandırılmıştır (Seyitoğlu, 1997). Bu çalışmada, Simav Fay Zonu'nun Sındırgı segmenti ile bu fayın kuzeyinde yer alan Düvertepe Fay Zonu ve civarının kinematik ve sismotektonik özellikleri incelenmiştir.



Şekil 1. (a) Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritası üzerinde çalışma alanının konumu (Emre vd., 2013). (b) Simay Fay Zonu'nun meydana getiren segmentler ve çalışma alanı oluşturan Sındırgı Segmenti ile Düvertepe Fay Zonu'nun konumu (Emre, Doğan, ve Özalp, 2011a; Emre, Özalp, ve Duman, 2011b; Emre, Duman, ve Özalp, 2011c; Emre, Duman, Özalp, Olgun, ve Elmacı, 2011d; Emre vd., 2013'den derlenmiştir)

Çalışma alanında yer alan Sındırgı Segmenti ile Düvertepe Fay Zonu'nun aktivitesi; M.T.A tarafından yayınlanan Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritası'nda tanımlanmıştır. Buna göre, Simav Fay Zonu'nun en batı segmentini oluşturan Sındırgı Segmenti, aktivitesi bilinen Holosen Fayı olarak tanımlanmış olup, Holosen'de (son 11.000 yıl içerisinde) yüzey faylanması oluşturan fay olarak tanımlanmıştır (Emre vd., 2011a). Bu fayın kuzeyinde yer alan Düvertepe Fay Zonu ise, Holosen'deki etkinliği şüpheli olan Kuvaterner Fayı olarak tanımlanmış olup, Pleyistosen'de (son 1.600.000 yıl içerisinde) yüzey faylanması oluşturan, ancak Holosen etkinliği kuşkulu olan bir fay olarak tanımlanmıştır (Emre vd., 2011a). Çalışma alanı ve yakın civarı; tarihsel ve aletsel dönemde pek çok depreme maruz kalmıştır. 2003-2019 yılları arası $M \geq 3.0$ olan depremler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) Çalışma alanının (39.00-39.45 enlemleri ile 28.00-28.45 boylamları arasında kalan bölge) konumu (b) Çalışma alanında 2003-2019 yılları arasında meydana gelmiş $M \geq 4.0$ depremler ve bu depremlere ait bazı parametreler (c) Çalışma alanında 2003-2019 yılları arasında meydana gelmiş $M \geq 3.0$ depremler (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> adresinden, bu çalışma için derlenmiştir)

2. Materyal ve Yöntem

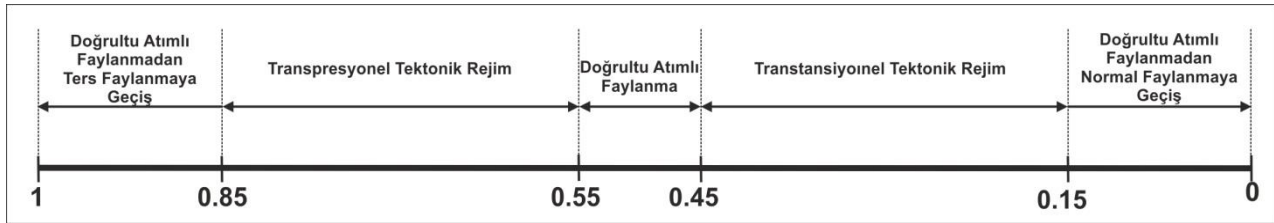
2.1. Fay Topluluklarının Kinematik Analizinde Kullanılan Yöntem

Fay topluluklarının kinematik analizi kısmında kullanılan sayısal analiz yöntemi, ilk kez Carey (1979) tarafından ortaya konmuş olup, Carey-Gailhardis ve Mercier (1987) tarafından ise geliştirilmiştir. Çalışma alanındaki jeolojik birimin türü ve mostra koşullarının elverişli olduğu yerlerde, hareketin biçimini belirten ve fay düzlemi üzerinde yer alan belirteçler (doğrultu, eğim yönü, eğim miktarı, kayma miktarı) kullanılır. Kullanılan bu belirteçler sonucunda elde edilen veri ve analizler (fayın doğrultusu, eğim yönü, eğim miktarı ve kayma çiziklerinin vektörü), çalışma sahasının genelinde yapıldığı için, tüm çalışma sahasının davranış ve deformasyon biçimini ortaya koymaktadır. Çalışma sahasının genelinden elde edilen sonuçlar ile birebir benzerlik sunmayan lokasyonlar sadece yerel olarak bir önem taşımaktadır.

Genel olarak, hareket düzlemlerinin kutup noktaları üç ana yön boyunca birbirine dik üç düzlem boyunca uzanmaktadır. Birbirine dik üç ana gerilme yönü, stres elipsoidinin eksenleri, en büyük sıkışma gerilmesi (σ_1), orta gerilme eksenini (σ_2) ve en küçük gerilme bileşeni (σ_3), olmak üzere malzemenin süreksizliğine ve heterojenliğine bağlı olarak değişir. Bu durumun her bir fay için hareket yönünde ana gerilmelerden σ_1 'in sıkışma bölgesinde, σ_3 'ün ise açılma bölgesinde yer aldığını Angelier ve Mechler (1977) tarafından ortaya konmuştur.

Her bir ölçülmüş kayma çizgisi için, düzlem üzerindeki gerilme (σ_1), $\sigma_1 = \sigma_{ni} + \tau_i$ olarak belirlenir. Yukarıda belirtilen hipotezi öngörülen atım vektörü (τ_i) ile gözlenen atım vektörü (S_i) arasındaki açının 0° 'a yaklaştığını gösterir. (τ_i) bileşenleri dört parametrenin fonksiyonudur. Bunlar bir coğrafik referans noktasına göre üç ana

gerilme doğrultusunu veren üç Euler açısı ve ana gerilemeleri arasındaki R oranıdır (Carey, 1976; 1979, Carey-Gailhardis ve Mercier, 1987). $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$. Burada σ_1 , σ_2 , σ_3 sırasıyla sıkışma, orta ve genişleme olmak üzere üç ana gerilme değerini vermektedir. R değeri ($\sigma_2 = \sigma_3$) ile ($\sigma_1 = \sigma_2$) arasında değişir. R değeri, 0 ile 1 arasında değişmektedir. R değeri, faylanmanın türü ve bileşeni hakkında bilgi vermektedir. R değerinin 0 olduğu durumun genişleme rejimi ürünü olan normal faylanma olduğu; 1'e yakın olduğu durumun ise sıkışma rejimi ürünü olan ters faylanma olduğu kabul edilir. R değerinin 0'a yakın olması ($0 < R < 0.15$); doğrultu atımlı faylanmadan normal faylanmaya geçişi; 1'e yakın olması ise ($0.85 < R < 1$); doğrultu atımlı faylanmadan normal faylanmaya geçişi gösterir. R değerinin; $0.45 < R < 0.55$ olması durumunda doğrultu atımlı faylanmadan söz edilebilir. Yine R değerinin 0.45'den ($0.15 < R < 0.45$) küçük olduğu durumlar transtansiyonel rejimi; 0.55'ten büyük olması ($0.55 < R < 0.85$) ise transpresiyonel rejimi ifade eder (Özden, Över, Kavak, ve İnal, 2008) (bkz. Şekil 3). Normal faylanma rejiminin üç eksenli gerilme durumunda olduğu da R oranına göre belirlenebilmektedir. Normal faylanma çözümü veren istasyonlarda R değerinin ($0.15 < R < 0.85$) arasında kalması beklenir. Aksi takdirde normal faylanmanın iki eksenli ve radyal (yerçekimine bağlı) olarak geliştiği düşünülebilir (Carey, 1979; Carey-Gailhardis ve Mercier 1987).



Şekil 3. Ana gerilme eksenleri arasındaki R oranına göre doğrultu atımlı faylanmaların türü (Özden vd., 2008'den alınarak şematize edilmiştir).

2.2. Depremlerin Odak Mekanizma Çözümü İçin Kullanılan Yöntem

Çalışma sahası ve civarında meydana gelen yerel depremlerin, dalga formu moment tensör ters çözüm tekniği kullanılarak kaynak parametreleri ortaya çıkarılmıştır. Buna ek olarak özellikle 2003 sonrasında bu bölgede meydana gelmiş önemli depremlerin odak çözüm mekanizmaları derlenmiştir. Deprem dalga formları sayısal verisi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Tsunami ve Deprem İzleme Merkezi'nden temin edilmiştir. Dalga formu modellemesi ve ters çözümü ilk olarak elastik düz tabakalı ortamdaki makaslama dislokasyon nokta kaynakla tanımlanabilen üç temel faylanmadaki sekiz Green fonksiyonu bileşenlerinin karmaşık spektrumlarını hesaplamak amacıyla Frekans-Dalga sayısı (F-K) integrasyon metodu (Bouchon, 1981) kullanılmıştır.

Ters Çözüm iki farklı aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada deviatorik gerilmelerin $M_{zz} = -(M_{xx} + M_{yy})$ sismik moment tensörün iz elementlerine eklenmesi ile çözülmektedir. Bu gerilmeler kaynağın hacimsel bileşene sahip olmadığı anlamına gelmektedir. Böylece bilinmeyen model parametreleri sayısı sismik moment tensörün bileşen sayısını 5'e düşürmektedir. İkinci aşamada, fay düzlemi yönelimi ve skaler sismik moment eşitlik 3'te tanımlanan sisteme dayanarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplama sırasında doğrultu (strike), eğim (dip), rake ve skaler sismik moment parametreleri için bir ters çözüm işlemi uygulanmaktadır. Bu hesaplama alternatif olarak fay düzlemi yönelimi ve skaler sismik momenti dalga formu verisinden doğrudan belirlemek doğrusal olmayan ters çözüm gerektirmektedir. Moment tensör bileşenlerinden fay düzlemi parametrelerinin (azimut, eğim ve dalım) 1. ve 3. eşitliklerden hesaplanması daha kullanışlı olmakla beraber daha güvenilir sonuçlar da üretmektedir.

Veri analizinde ayrıca moment tensör ters çözümü için bir pencereleme metodu da kullanılmaktadır. Bir tek istasyondaki her bir P ve S dalga formunu içerisine alan Hanning penceresi hesaplanmaktadır. Bu işlem sonrası tek bir istasyondaki bütün bileşenlere her bir pencere için eş zamanlı moment tensör ters çözüm işlemi uygulanmaktadır. Gözlemsel veri ile sentetik sismogramları hizalamak için çapraz ilişki işlemi uygulanarak ters çözüm uygun hale getirilmektedir. Her bileşen için üç temel fayın Green fonksiyonları sıralanmış veri ile

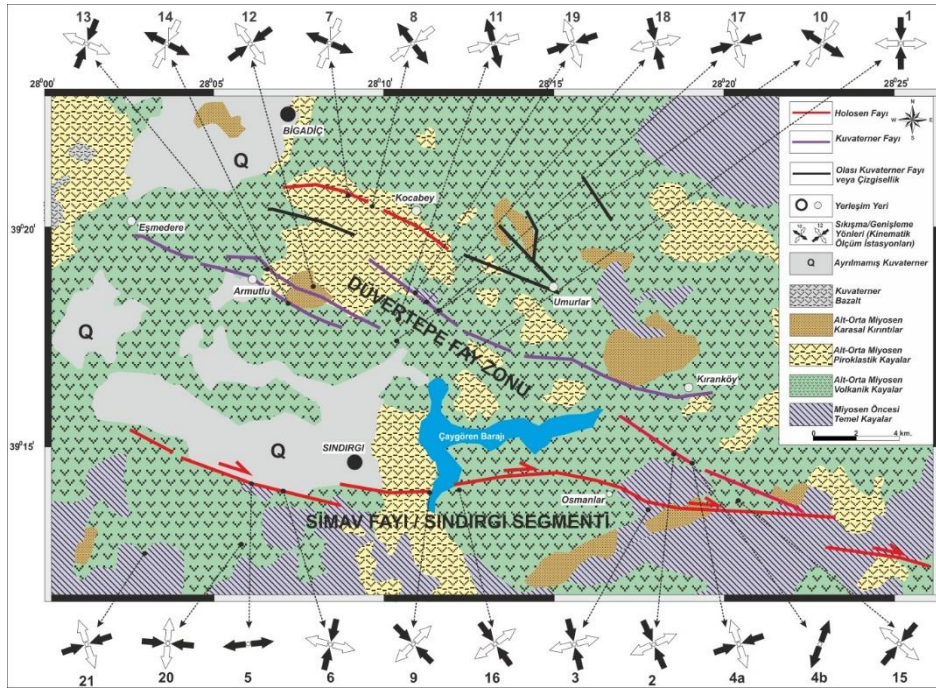
ilişkilendirilmektedir (Dreger ve Langston, 1995). Kinematik ve Sismolojik ters çözüm sonuçları dikkate alınarak tektonik rejim hakkında değerlendirme yapılması mümkün olmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kinematik Analiz Bulguları

Fay topluluklarının ölçüldüğü gözlem yerleri, farklı yaşlardaki jeolojik birimlerden, toplam 21 adet istasyondan 160 adet fay düzleminden oluşmaktadır. Ancak 4 numaralı istasyonda 2 farklı tektonik faz görüldüğü için, farklı fazlar kendi içerisinde gruplara ayrılarak 2 farklı istasyon olarak değerlendirilerek, toplam 22 istasyon olacak şekilde kinematik analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kinematik ölçümlerin gerçekleştirildiği lokasyonların harita üzerindeki dağılımı Şekil 4’de, bu lokasyonların koordinat, yaş ve litoloji bilgileri ise Tablo 1’de verilmiştir.

Çalışma alanının jeolojik kaya birimlerine bakıldığında, ağırlıklı olarak Alt-Orta Miyosen yaşlı birimler görülmektedir (M.T.A, 2002). Alt-Orta Miyosen yaşlı jeolojik birimler, bu çalışma için volkanik kayalar, piroklastik kayalar ve karasal kırıntılar olarak 3 farklı litoloji halinde gruplandırılmıştır. Miyosen öncesi birimler için jeolojik harita sadeleştirilmiş olup, bu birimler kendi içinde gruplandırılmamıştır ve temel birimler olarak değerlendirilmiştir. Toplam 21 istasyonda gerçekleştirilen kinematik analiz ölçümlerinin 17 tanesi Miyosen yaşlı birimlerde, 4 tanesi de Miyosen öncesi temel birimlerde ölçülmüştür (bkz. Şekil 4).



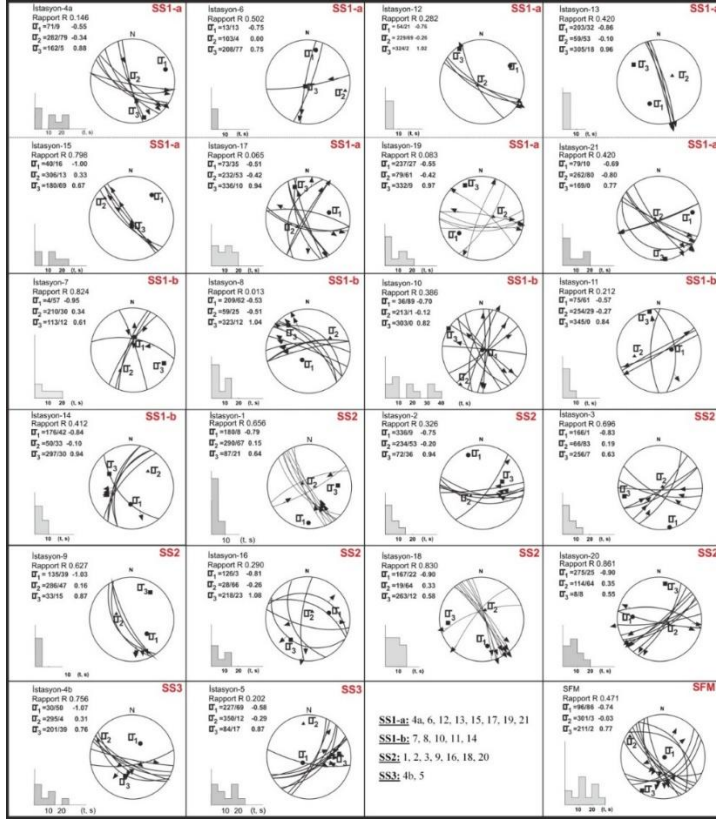
Şekil 4. Çalışma alanında kinematik ölçüm analizi gerçekleştirilen lokasyonlar ve her bir istasyona ait stres yönleri (fay haritası Emre vd., 2011a’ dan, jeoloji haritası M.T.A., 2002’ den sadeleştirilerek alınmıştır).

Tablo 1

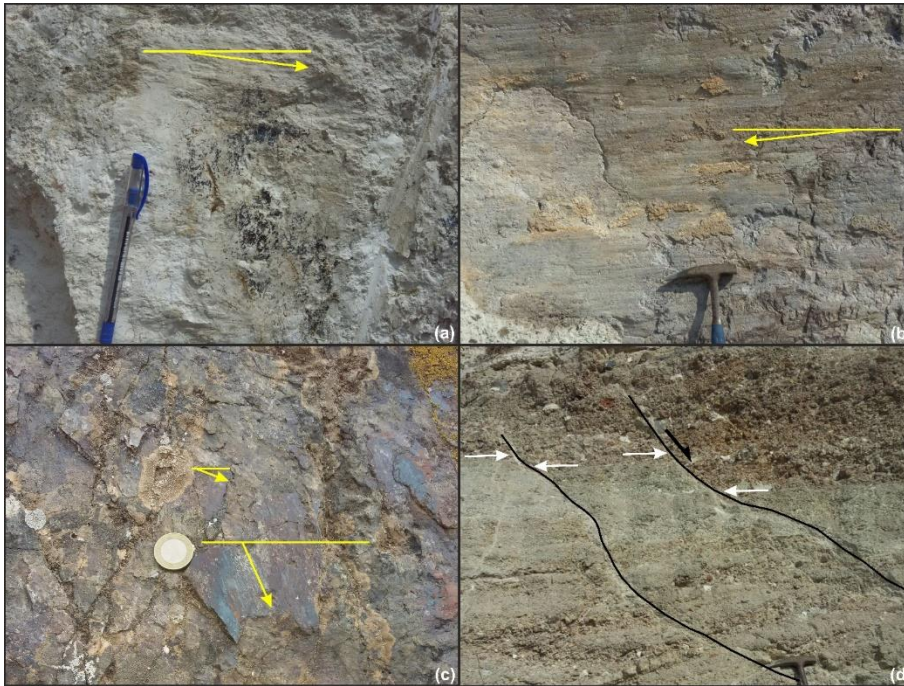
Fay ölçüm istasyonlarının koordinat, yaş ve litoloji bilgileri

İstasyon	UTM (Boylam)	UTM (Enlem)	Yaş	Litoloji	Ölçüm Sayısı
1	35S 0606671	4349155	Miyosen	Volkanik Kaya	10
2	35S 0615259	4345831	Miyosen	Aglomera	7
3	35S 0614421	4343445	Miyosen Öncesi	Kireçtaşı	7
4	35S 0616818	4344394	Miyosen Öncesi	Kireçtaşı	15
5	35S 4341920	596687	Miyosen Öncesi	Ofiyolitik Melanj	10
6	35S 0597906	4342918	Miyosen	Andezitik Tüf	3
7	35S 0602412	4357157	Miyosen	Pirkolastik	5
8	35S 0601218	4356744	Miyosen	Andezitik Tüf	9
9	35S 0601681	4355555	Miyosen	Volkanik Kaya	4
10	35S 0602750	4350007	Miyosen	Altere Volkanit	11
11	35S 0602865	4350660	Miyosen	Altere Volkanit	5
12	35S 0598409	4353501	Miyosen	Kiltaşı	4
13	35S 0596620	4352997	Miyosen	Kiltaşı	5
14	35S 0597119	4351538	Miyosen	Kiltaşı	6
15	35S 0616982	4344048	Miyosen	Volkanik Kaya	6
16	35S 0613479	4347072	Miyosen	Altere Volkanit	6
17	35S 0605792	4350692	Miyosen	Altere Volkanit	10
18	35S 0607458	4351595	Miyosen	Metamorfik Kaya	11
19	35S 0609054	4352451	Miyosen	Metamorfik Kaya	8
20	35S 0594525	4339957	Miyosen	Granit	10
21	35S 0591985	4338764	Miyosen Öncesi	Altere Volkanit - Dasit	8

Toplam 21 istasyondan, 22 gözlem noktasından ölçülen fay düzlemlerine ait kinematik veriler ile 4 farklı tektonik rejimin varlığı tespit edilmiştir. Bu tektonik rejimler, yaşlıdan gence doğru sırasıyla; KD-GB Sıkışma Rejimi (SS1-a), KB-GD Genişleme Rejimi (SS1-b), KB-GD Sıkışma Rejimi (SS2) ve KD-GB Genişleme Rejimi (SS3) dir. Tüm tektonik rejim türlerine (deformasyon evrelerine) ait kinematik analiz sonuçları Şekil 5’de, farklı faylanma türlerine ait saha gözlemlerine dayalı bir şekil ise, Şekil 6’da verilmiştir. Bu tektonik rejim türleri (deformasyon evreleri) birbirlerinden ayırt edilirken birden çok parametre göz önünde bulundurulmuştur ve son tektonik rejimden başlanarak geriye doğru gidilmiştir. Tektonik rejimler, kinematik analiz sonucu elde edilen asal gerilme eksenlerinin yönleri ve asal gerilme eksenleri arasındaki oranlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, yine sahadaki birbirini üzerleyen fay düzlemi verileri, birbirini kesen fay-atım verileri, sahadaki orta-büyük ölçekli yapılar da bu kronolojik sıranın oluşturulmasında göz önünde bulundurulmuştur. Bu konuda özellikle Batı Anadolu’da deformasyon evrelerini birbirinden ayırt etmeye yönelik yapılan önceki çalışmalar, benzer ve aynı yaştaki sahalarda yapılan karşılaştırmalar ve Batı Anadolu’nun jeodinamik evrimi bu kronolojik kurgunun oluşturulmasında büyük etken olmuştur.



Şekil 5. Çalışma alanında toplam 21 istasyondan, toplam 160 adet fay düzlemine ait kinematik analiz sonuçları eşit açılı projeksiyon alt yarımküresi (Wulf) üzerinde (öngörülen kayma vektörü (τ) ile hesaplanan kayma vektörü (s) arasındaki sapma açısının dağılımı histogramlarda verilmiştir) görülmektedir.



Şekil 6. Çalışma alanında görülen faylanma türleri (a) sol yanal doğrultu atımlı faylanma (istasyon-12) (b) sağ yanal doğrultu atımlı faylanma (istasyon-13) (c) Süller Köyü güneydoğusunda görülen, doğrultu atım bileşeni olan, normal faylanmaya yakın vev atımlı faylanma (d) Armutlu Köyü civarında genç birimlerde görülen normal bileşenli deformasyon

3.1.1. KD-GB Sıkışma Rejimi (SS1-a)

Bu tür faylanma, çalışma alanında Sındırgı Segmenti haricinde diğer alanlarda (Holosen etkinliği kuşkulu olan özellikle Düvertepe Fay Zonu ve civarında) görülmektedir. Bu rejimi temsil eden; 4a, 6, 12, 13, 15, 17, 19, 21 numaralı istasyonlardan, toplam 52 tane fay düzlemi ölçülmüştür. Burada en büyük ana gerilme eksenini (σ_1) ve en küçük ana gerilme eksenini (σ_3) yatayda iken; ortağ gerilme eksenini (σ_2) düşeydedir. Bundan dolayı ise, buradaki tektonik rejim türü doğrultu atımlı faylanmadır. Ölçülen bu veriler birlikte değerlendirildiğinde, en büyük ana gerilme eksenini (σ_1)= $231^\circ/20^\circ$; en küçük ana gerilme eksenini (σ_3)= $297^\circ/24^\circ$ 'dir. Rm oranı ise 0.340 olarak bulunmuştur (bkz. Tablo 2). Bu sonuçlar, bölgedeki sıkışmanın (σ_1)= $K51^\circ D$ olduğunu göstermektedir. R oranı, 0.45'den küçük olduğu için ($R_m=0.340$) buradaki doğrultu atımlı faylanma, transtansiyonel karakterdedir.

Tablo 2

Çalışma alanında, KD-GB Doğrultulu sıkışma rejimini (SS1-a) temsil eden fay topluluklarının; [Carey-Gailhardis \(1987\)](#)'in sayısal analiz yöntemi ile değerlendirilmesi sonucu hesaplanan asal gerilme eksenlerinin [(σ_1), (σ_2), (σ_3)] durumları, R oranı $\{(\sigma_2-\sigma_1) / (\sigma_3-\sigma_1)\}$, Ölçü sayısı (N), fay ölçüm istasyonları

İstasyon	σ_1 (Az / dip)	σ_2 (Az / dip)	σ_3 (Az / dip)	R Oranı	N
4a	71/9	282/79	162/5	0.146	8
6	13/13	103/4	208/77	0.502	3
12	54/21	229/69	324/2	0.282	4
13	203/32	59/53	305/18	0.420	5
15	40/16	306/13	180/69	0.798	6
17	73/35	232/53	336/10	0.065	10
19	237/27	79/61	332/9	0.083	8
21	79/10	262/80	169/0	0.420	8
SS1a	$\sigma_1=231^\circ/20^\circ$ ve $\sigma_3=297^\circ/24^\circ$			Rm=0.340	52

3.1.2. KB-GD Genişleme Rejimi (SS1-b)

Bu tür faylanma da SS1-a rejiminde olduğu gibi, çalışma alanında Sındırgı Segmenti haricinde diğer alanlarda (Holosen etkinliği kuşkulu olan özellikle Düvertepe Fay Zonu ve civarında) görülmektedir. Bu rejimi temsil eden; 7, 8, 10, 11, 14 numaralı istasyonlardan, toplam 36 tane fay düzlemi ölçülmüştür. Burada ortağ gerilme eksenini (σ_2) ve en küçük ana gerilme eksenini (σ_3) yatayda iken; en büyük asal gerilme eksenini (σ_1) düşeydedir. Bundan dolayı ise, buradaki tektonik rejim türü normal faylanmadır. Ölçülen bu veriler birlikte değerlendirildiğinde en küçük ana gerilme eksenini (σ_3)= $312^\circ/11^\circ$ 'dir. Rm oranı ise 0.369 olarak bulunmuştur (bkz. Tablo 3). Bu sonuçlar, bölgedeki açılma (genişleme) yönünün (σ_3)= $K48^\circ B$; olduğunu göstermektedir.

Tablo 3

Çalışma alanında, KB-GD Genişleme Rejimini (SS1-b) temsil eden fay topluluklarının; Carey-Gailhardis (1987)'in sayısal analiz yöntemi ile değerlendirilmesi sonucu hesaplanan asal gerilme eksenlerinin $[(\sigma_1), (\sigma_2), (\sigma_3)]$ durumları, R oranı $\{(\sigma_2-\sigma_1) / (\sigma_3-\sigma_1)\}$, Ölçü sayısı (N), fay ölçüm istasyonları

İstasyon	σ_1 (Az / dip)	σ_2 (Az / dip)	σ_3 (Az / dip)	R Oranı	N
7	4/57	210/30	113/12	0.824	5
8	209/63	59/25	323/12	0.013	9
10	36/89	213/1	303/0	0.386	11
11	75/61	254/29	345/0	0.212	5
14	176/42	50/33	297/30	0.412	6
SS1b	$\sigma_1=80/62$ ve $\sigma_3=312/11^\circ$			Rm=0.369	36

3.1.3. KB-GD Sıkışma Rejimi (SS2)

Bu tür faylanma, çalışma alanında özellikle Sındırgı Segmenti'nde görülmektedir. Bu rejimi temsil eden; 1, 2, 3, 9, 16, 18, 20 numaralı istasyonlardan, toplam 55 tane fay düzlemi ölçülmüştür. Ölçülen bu veriler birlikte değerlendirildiğinde, en büyük ana gerilme eksenini $(\sigma_1)=301^\circ/15^\circ$; en küçük ana gerilme eksenini $(\sigma_3)=237^\circ/17^\circ$ 'dir. Rm oranı ise 0.612 olarak bulunmuştur (bkz. Tablo 4). Bu sonuçlar, bölgedeki sıkışmanın $(\sigma_1)=K59^\circ B$ olduğunu göstermektedir. R oranı, 0.55'den büyük olduğu için (Rm=0.612) doğrultu atımlı faylanma, transpresyonel karakterdedir.

Tablo 4

Çalışma alanında, KB-GD Sıkışma Rejimini (SS2) temsil eden fay topluluklarının; Carey-Gailhardis (1987)'in sayısal analiz yöntemi ile değerlendirilmesi sonucu hesaplanan asal gerilme eksenlerinin $[(\sigma_1), (\sigma_2), (\sigma_3)]$ durumları, R oranı $\{(\sigma_2-\sigma_1) / (\sigma_3-\sigma_1)\}$, Ölçü sayısı (N), fay ölçüm istasyonları

İstasyon	σ_1 (Az / dip)	σ_2 (Az / dip)	σ_3 (Az / dip)	R Oranı	N
1	180/8	290/67	87/21	0.656	10
2	336/9	234/53	72/36	0.326	7
3	166/1	66/83	256/7	0.696	7
9	135/39	286/47	33/15	0.627	4
16	126/3	28/66	218/23	0.290	6
18	167/22	19/64	263/12	0.830	11
20	275/25	114/64	8/8	0.861	10
SS2	$\sigma_1=301^\circ/15^\circ$ ve $\sigma_3=237^\circ/17^\circ$			Rm=0.612	55

3.1.4. KD-GB Genişleme Rejimi (SS3)

Bu tür faylanma, çalışma alanında gözlenen en genç tektonik rejim olup, Sındırgı Segmenti'nde görülmektedir. Bu rejimi temsil eden; 4b ve 5 numaralı istasyonlardan, toplam 17 tane fay düzlemi ölçülmüştür. Burada ortaç gerilme eksenini (σ_2) ve en küçük ana gerilme eksenini (σ_3) yatayda iken; en büyük asal gerilme eksenini (σ_1) düşeydedir. Bundan dolayı ise, buradaki tektonik rejim türü normal faylanmadır. Ölçülen bu veriler birlikte değerlendirildiğinde en küçük ana gerilme eksenini $(\sigma_3)=233^\circ/8^\circ$ 'dir. Rm oranı ise 0.479 olarak bulunmuştur (bkz. Tablo 5). Bu sonuçlar, bölgedeki açılma (genişleme) yönünün $(\sigma_3)=K53^\circ D$; olduğunu göstermektedir.

Tablo 5

Çalışma alanında, KD-GB genişleme rejimini (SS3) temsil eden fay topluluklarının; [Carey-Gailhardis \(1987\)](#)'in sayısal analiz yöntemi ile değerlendirilmesi sonucu hesaplanan asal gerilme eksenlerinin $[(\sigma_1), (\sigma_2), (\sigma_3)]$ durumları, R oranı $\{(\sigma_2-\sigma_1) / (\sigma_3-\sigma_1)\}$, Ölçü sayısı (N), fay ölçüm istasyonları

İstasyon	σ_1 (Az / dip)	σ_2 (Az / dip)	σ_3 (Az / dip)	R Oranı	N
4b	30/50	295/4	201/39	0.756	7
5	227/69	350/12	84/17	0.202	10
SS3	$\sigma_2=323^\circ/8^\circ$ ve $\sigma_3=233^\circ/28^\circ$ $R_m=0.479$				17

3.2. Depremlerin Odak Mekanizma ve Ters Çözümleri

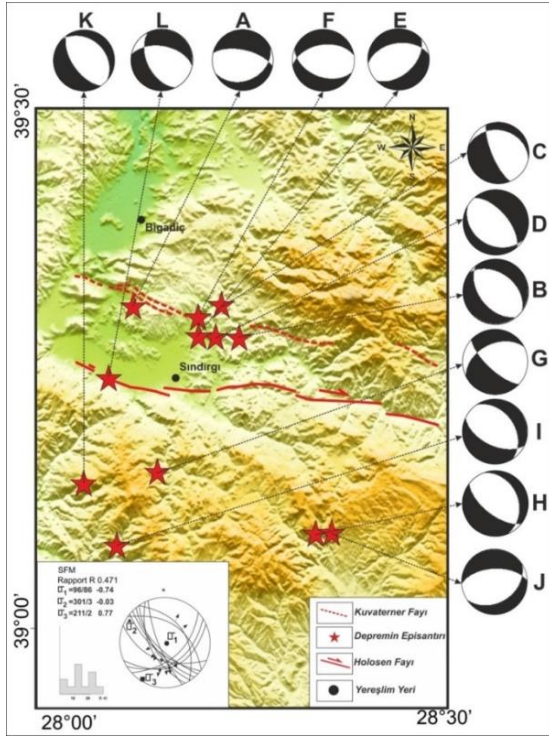
Çalışma alanının genelinde, sayısal kayıtlarına ulaşılabilecek durumda olan ve 2003-2016 yılları arasında meydana gelen depremlerden, $M \geq 3.5$ olan; parametreleri Tablo 6'da sunulan 12 adet depremin çözümü yapılmıştır. Bu depremlerin dinamik ve kinematik parametreleri, moment tensör ters çözüm tekniği ([Dahm, 1996](#); [Shomali ve Slunga, 2000](#); [Dreger 2002](#)) uygulanarak belirlenmiştir.

Tablo 6

Çalışma alanı ve civarında 2003-2016 yılları arasında meydana gelmiş. $M \geq 3.5$ olan 12 adet depreme ait parametreler (Koyu renkle ifade edilen düzlemler ana düzlem, diğerleri yardımcı düzlem olup, SFM bu depremlere ait ortak odak mekanizma çözüm sonuçlarını ifade etmektedir. MD: süreye bağlı büyüklük, ML: yerel büyüklük)

No	Tarih	Saat (UTM)	Enlem	Boylam	Düzlem-1 (Strike/Dip/Rake)	Düzlem-1 (Strike/Dip/Rake)	Büyüklük	Derinlik (km)
A	04.02.2016	04:14	39.31	28.12	66/32/-122	282/63/-72	3.5 (ML)	5.0
B	09.08.2003	16:14	39.28	28.25	142/49/-79	305/43/-102	3.5 (MD)	8.0
C	15.06.2003	08:26	39.31	28.23	157/74/-68	280/27/-144	3.8 (MD)	12.0
D	14.06.2003	09:39	39.28	28.22	122/30/-105	319/61/-82	3.8 (ML)	9.0
E	13.06.2003	19:38	39.28	28.20	48/49/-113	261/46/-66	3.7 (ML)	9.0
F	13.06.2003	10:28	39.30	28.20	112/46/-67	261/49/-112	4.1 (ML)	10.0
G	02.12.2015	15:52	39.15	28.15	133/71/-49	243/45/-153	3.9 (ML)	15.9
H	12.11.2013	21:04	39.09	28.35	128/63/-105	339/30/-63	3.6 (ML)	6.8
I	27.06.2012	03:43	39.08	28.10	116/55/-108	326/39/-66	3.7 (ML)	5.4
J	10.06.2011	22:47	39.09	28.36	58/37/-114	268/57/-73	4.6 (ML)	13.9
K	03.07.2006	05:59	39.14	28.06	145/60/-84	313/31/-100	3.7 (MD)	11.3
L	05.01.2003	00:46	39.24	28.09	153/52/-51	280/52/-129	3.5 (MD)	15.0
SFM $\sigma_2=301^\circ/3^\circ$ and $\sigma_3=211^\circ/2^\circ$ $R_m=0.471$								

Bu 12 adet deprem, ayrı ayrı değerlendirildiğinde normal faylanma ürünü olan depremler olduğu görülmektedir. Bu depremlerin ortak çözümleri (SFM ortak çözümü), Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. Çalışma alanı ve civarında 2003-2016 yılları arasında meydana gelmiş. $M \geq 3.5$ olan 12 adet depreme ait odak mekanizma çözümleri

Bu depremlerin ortak çözümlerine bakıldığında, ortaç gerilme eksenini (σ_2) ve en küçük ana gerilme ekseninin (σ_3) yatayda; en büyük asal gerilme ekseninin (σ_1) ise düşeyde olduğu görülmektedir. Ölçülen bu veriler birlikte değerlendirildiğinde en küçük ana gerilme eksenini (σ_3)= $211^\circ/2^\circ$ 'dir. Rm oranı ise 0.471 olarak bulunmuştur.

Depremlerin odak mekanizma ortak çözüm sonuçlarına göre, bölgedeki açılma (genişleme) yönünün (σ_3)= $K31^\circ D$ olduğunu; günümüzde KKD-GGB yönünde bir genişleme rejiminin baskın olduğunu göstermektedir.

3.3. Kinematik Analiz Bulguları ile Depremlerin Odak Mekanizma ve Ters Çözümlerine Ait Bulguların Birlikte Değerlendirilmesi

Bünyesinde birçok yapısal unsuru ve yapısal sınırı barındıran Ege Graben Sistemi içerisinde yer alan Simav Fay Zonu, neotektonik döneme ait önemli yapıların başında gelir. Bu çalışmada; Ege genişlemeli tektonik rejimi ile Kuzeybatı Anadolu geçiş tektonik rejimi arasında yapısal bir sınır olarak (Doğan ve Emre, 2006) değerlendirilen Simav Fay Zonu'nun; Sındırgı Segmenti ile bu fayın kuzeyinde yer alan Düvertepe Fay Zonu ve civarının kinematik ve sismotektonik özellikleri incelenmiştir.

Simav Fay zonu ve civarında Neotektonik dönemin başlangıç yaşının Pliyo-Kuvaterner olduğu, graben dolgularının yaşları ve deformasyon biçimi ile kanıtlanmıştır ve Simav Fay Zonu'nun, GB Türkiye' de güncel KKD yönlü kabuk gelişmesine, D-B ve KD-GB gidişli graben-horst sistemleri kadar katkıda bulunduğu ifade edilmiştir (Koçyiğit ve Deveci, 2005). Bu durum kayma düzlemi verilerinin stereografik izdüşümü, açılma sırtı travertenleri ve güncel yıkıcı depremlerin odak mekanizması çözümleriyle de kanıtlanmıştır (Eyidoğan, Güçlü, Utku, ve Değirmenci, 1991; Eyidoğan ve Jackson 1985; Taymaz, Tan, Özalaybey, ve Karabulut, 2002; Koçyiğit ve Deveci, 2005).

Batı Anadolu'da, özellikle Havran-Balıkesir Fay Zonu'nda (Havran-Balya Fay Zonu ve Balıkesir Fayı) ile İzmir-Balıkesir transfer zonunda yapılan önceki çalışmalarda, bölgenin kinematik gelişimi ve Batı Anadolu tektoniğindeki yeri ortaya konmuştur. Sümer, Uzel, Özkaymak, ve Sözbilir, (2018), Havran-Balıkesir Fay Zonu'nda yaptıkları çalışmada fay atım verileri ile 3 evreli bir deformasyonun varlığını saptamışlardır. Bunlar

sırasıyla (i) Miyosen öncesi döneme ait olan, genellikle sol yanal ters bileşenli faylarla temsil edilen KB-GD genişleme / KD-GB sıkışma rejimi, (ii) Pliyo-Kuvaterner’de, doğrultu atımlı faylarla ve ters faylarla temsil edilen D-B genişleme / K-G sıkışmanın hakim olduğu rejim, (iii) en genç evre ise, Kuvaterner’den günümüze kadar etkin olan KD-GB genişleme / KB-GD sıkışma evresidir. [Uzel, Sözbilir, Özkaymak, Kaymakçı, ve Langereis, \(2013\)](#), İzmir-Balıkesir Transfer Zonundaki deformasyonları belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada; bu transfer zonu üzerinde Geç Senozoyik’te meydana gelen 3 farklı deformasyon evresi belirlemiştir. Bu deformasyon evreleri yaşlıdan gence doğru sırasıyla, (i) Doğrultu atımlı faylanmanın baskın olduğu ve Miyosen dönemine denk gelen K-G genişleme ve D-B sıkışma rejimi, (ii) Erken Pliyosen döneminde doğrultu atımlı faylanmanın baskın olduğu transtansiyon rejimden, genişlemenin baskın olduğu transtansiyon rejime geçiş evresi, (iii) İzmir-Balıkesir Transfer Zonunun parçalanarak daha dar bir makaslama zonuna dönüştüğü; KD-GB sağ yönlü doğrultu atımlı faylar, KB-GD sol yönlü doğrultu atımlı faylar ve D-B doğrultulu normal fayların birlikte çalıştığı deformasyon evresidir. Yine Batı Anadolu’da İzmir ve civarında Cumaovası Havzası’nda [Uzel ve Sözbilir \(2008\)](#) tarafından yapılan çalışmada Orhanlı Fay Zonu boyunca transpresyon rejim ve sol yönlü doğrultu atımlı faylanmanın KB-GD sıkışma ve KD-GB açılma gerilmeleri ile ilgili olduğu, havzadaki genç veriler ile yaklaşık K-G yönlü genişleme ve D-B yönlü sıkışma ile ilişki transtansiyonal bir rejimin etkin olduğu ve günümüzde de bu rejimin devam ettiğini deprem odak mekanizma çözümleri ile desteklemiştir. Yine benzer şekilde, Orta-Batı Anadolu’da yer alan Eskişehir Fayı üzerinde [Özden, Gündoğdu ve Bekler, \(2015\)](#) tarafından yapılan çalışmada, transpresyonal rejimle ilişkili KB-GD sıkışma ve KD-GB açılmadan, transtansiyonal tektonik rejimle ilişkili KD-GB sıkışma ve KB-GD açılmaya geçişin muhtemelen Kuvaterner zaman diliminde olduğunu belirtmişler ve günümüzde de bu rejimin devam ettiğini deprem odak mekanizma çözümleri ile desteklemiştir.

Bu çalışmada, çalışma sahasında mostra koşullarının uygun olduğu yerlerde toplam 21 istasyonda 160 adet, üzerinde kinematik belirteçleri taşıyan fay düzlemleri ölçülerek derlenmiş ve sayısal analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda bölgede Neotektonik dönemi temsil ettiği düşünülen dört evreli bir tektonik rejimin varlığı saptanmıştır.

Çalışma alanındaki en eski tektonik rejim türü, Pliyo-Kuvaterner öncesi (?) bir dönemde başlayan KD-GB doğrultulu sıkışma rejimi (SS1-a) altında gelişen ve özellikle doğrultu atımlı faylanmalar ile temsil olunan bir rejim türüdür. Bu rejim, $K51^{\circ}D$ doğrultulu bir sıkışma altında gelişmiş olup; R oranının 0.340 olması doğrultu atımlı faylanmanın transtansiyonel bir karakterde olduğunu gösterir. Yine Pliyo-Kuvaterner (?) bir döneme ait olan KB-GD Genişleme Rejimi (SS1-b) altında gelişen ve genellikle normal bileşenin baskın olduğu verev atımlı faylanmalar ile temsil olunan bir rejim türüdür. Bu rejim, $K48^{\circ}B$ doğrultulu bir genişleme altında gelişmiştir. Bu deformasyon evreleri (SS1a ve SS1b); özellikle Holosen etkinliği kuşkulu olan ve [Emre vd. \(2011a\)](#) tarafından Kuvaterner Fayı olarak nitelendirilen Düvertepe Fay Zonu ve civarında görülmüştür. Bu deformasyon evresi [Sümer vd. \(2018\)](#) tarafından, çalışma alanının kuzeyinde yer alan Havran-Balıkesir Fay Zonu için önerilen, Miyosen öncesi döneme ait KB-GD genişleme / KD-GB sıkışma rejimi ile uyumludur. Yine belirlenen bu rejim türü, [Uzel vd. \(2013\)](#) tarafından İzmir-Balıkesir Transfer Zonu ve çevresi için öngörülen ve doğrultu atımlı faylanmanın baskın olduğu Miyosen dönemine karşılık gelen deformasyon ile nispeten uyumludur.

Pliyo-Kuvaterner döneminde ise, KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi (SS2) altında gelişen ve özellikle doğrultu atımlı faylanmalar ile temsil olunan bir rejim baskındır. Bu rejim, $K57^{\circ}D$ doğrultulu bir sıkışma altında gelişmiş olup; R oranının 0.612 olması doğrultu atımlı faylanmanın transpresyonel bir karakterde olduğunu gösterir. Bu tektonik rejim türü, [Emre vd. \(2011a\)](#) tarafından Holosen Fayı olarak tanımlanan Sındırgı Segmenti ve civarında görülmüştür. Bu deformasyon evresi, [Sümer vd. \(2018\)](#) tarafından Pliyo-Kuvaterner’de dönemi için Balıkesir-Havran Fay Zonu ve çevresi için öngörülen, doğrultu atımlı faylarla ve ters faylarla temsil edilen D-B genişleme / K-G sıkışma evresiyle nispeten uyumludur. Bu dönemde (Erken Pliyosen); doğrultu atımlı faylanmanın baskın olduğu transtansiyon rejimden, genişlemenin baskın olduğu transtansiyon rejime geçiş evresinin varlığı, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu’nda yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur ([Uzel vd., 2013](#)).

Çalışma alanındaki en genç tektonik rejim türü ise, günümüzde de etkin olan, normal bileşeni baskın oblik faylarla temsil olunan KD-GB Genişleme Rejimi (SS3) altında gelişen ve genellikle normal faylarla temsil olunan bir rejim türüdür. Bu rejim ise, K53°B doğrultulu bir genişleme altında gelişmiştir. Bu tektonik rejim türü, Emre vd. (2011a) tarafından Holosen Fayı olarak tanımlanan Sındırgı Segmenti ve civarında görülmüştür (bkz. Tablo 7 ve Şekil 8). Bu tektonik rejim türü Sümer vd. (2018) tarafından, çalışma alanının kuzeyinde yer alan Havran-Balıkesir Fay Zonu için önerilen ve Kuvaterner'den günümüze kadar etkin olan KD-GB genişleme / KB-GD sıkışma evresi ile uyumludur.

Tablo 7

Çalışma alanında 21 istasyondan derlenen fayların kinematik analiz sonuçlarının tablosal dağılımı. $[(\sigma_1), (\sigma_2), (\sigma_3)]$ asal gerilme eksenlerinin durumları, R oranı $\{(\sigma_2-\sigma_1) / (\sigma_3-\sigma_1)\}$, Ölçü sayısı (N), fay ölçüm istasyonları. (SS1a, SS1b, SS2, SS3: farklı tektonik rejim türlerine ait ortak çözümler, SFM: 12 adet depreme ait ortak odak çözüm mekanizması)

İstasyon	σ_1 (Az / dip)	σ_2 (Az / dip)	σ_3 (Az / dip)	R Oranı	N
4a	71/9	282/79	162/5	0.146	8
6	13/13	103/4	208/77	0.502	3
12	54/21	229/69	324/2	0.282	4
13	203/32	59/53	305/18	0.420	5
15	40/16	306/13	180/69	0.798	6
17	73/35	232/53	336/10	0.065	10
19	237/27	79/61	332/9	0.083	8
21	79/10	262/80	169/0	0.420	8
SS1a	$\sigma_1=231/20^\circ$ and $\sigma_3=297/24^\circ$ Rm=0.340				52
7	4/57	210/30	113/12	0.824	5
8	209/63	59/25	323/12	0.013	9
10	36/89	213/1	303/0	0.386	11
11	75/61	254/29	345/0	0.212	5
14	176/42	50/33	297/30	0.412	6
SS1b	$\sigma_1=80/62^\circ$ and $\sigma_3=312/11^\circ$ Rm=0.369				36
1	180/8	290/67	87/21	0.656	10
2	336/9	234/53	72/36	0.326	7
3	166/1	66/83	256/7	0.696	7
9	135/39	286/47	33/15	0.627	4
16	126/3	28/66	218/23	0.290	6
18	167/22	19/64	263/12	0.830	11
20	275/25	114/64	8/8	0.861	10
SS2	$\sigma_1=301/15^\circ$ and $\sigma_3=237/17^\circ$ Rm=0.612				55
4b	30/50	295/4	201/39	0.756	7
5	227/69	350/12	84/17	0.202	10
SS3	$\sigma_2=323/8^\circ$ and $\sigma_3=233/28^\circ$ Rm=0.479				17
SFM	$\sigma_2=301/3^\circ$ and $\sigma_3=211/2^\circ$ Rm=0.471				12

Çalışma alanındaki en genç tektonik rejim türü olan ise, normal bileşeni baskın oblik faylarla temsil olunan KD-GB Genişleme Rejiminin (SS3) günümüzde de etkin olduğunun bir diğer kanıtı ise, bölgede meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri sonuçları da desteklemektedir. Depremlerin odak mekanizma ortak çözüm sonuçlarına göre, bölgedeki açılma (genişleme) yönünün (σ_3)= $K31^\circ D$ olduğunu; günümüzde KKD-GGB yönünde bir genişleme rejiminin daha baskın olduğunu göstermektedir (bkz. Şekil 8). Gerek kinematik analiz sonuçlarından en genç tektonik rejim türünü temsil eden SS3'ün sonuçları, gerekse depremlerin odak mekanizma ortak çözüm sonuçlarından elde edilen genişleme yönleri, günümüzde Batı-Güneybatı Anadolu'da etkin olan genişleme yönüyle uyumluluk göstermektedir.

Yaş	Gerilme Durumları	Kinematik Ölçüm İstasyonları
Pliyo-Kuvaterner	<p>KD-GB Açılma Rejimi</p>	SS3 4b, 5
	<p>KB-GD Sıkışma Rejimi</p>	SS2 1, 2, 3, 9, 16, 18, 20
Pliyo-Kuvaterner Öncesi	<p>KD-GB Sıkışma Rejimi (SS1-a)</p>	SS1-b 7, 8, 10, 11, 14
	<p>KB-GD Açılma Rejimi (SS1-b)</p>	SS1-a 4a, 6, 12, 13, 15, 17, 19, 21

Şekil 8. Çalışma alanı ve çevresinin, Geç Senozoyik yaşlı gerilme durumlarının dağılımı

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Simav Fay Zonu'nun Sındırgı Segmenti ile, Düvertepe Fay Zonu ve civarının kinematik/sismotektonik özellikleri incelenmiştir. 21 istasyonda 160 adet üzerinde kinematik belirteçleri taşıyan fay veya faylar ölçülerek derlenmiş ve sayısal analizi yapılmış; bölgede Neotektonik dönemi temsil eden dört evreli bir tektonik rejimin varlığı saptanmıştır. Bunlar, KD-GB sıkışma (SS1a), KB-GD genişleme (SS1b), KB-GD sıkışma (SS2) ve KKD-GGB genişleme (SS3) evreleridir. Bu rejim türleri (deformasyon evreleri) birbirinde ayırt edilirken; kinematik analiz sonucundan elde edilen asal gerilme eksenlerinin yönleri, asal gerilme eksenleri arasındaki oranlar, sahada birbirini üzerleyen fay düzlemi verileri, birbirini kesen fay-atım verileri, sahadaki orta-büyük ölçekli yapılar, benzer ve aynı yaştaki sahalarla yapılan karşılaştırmalar, Batı Anadolu'nun jeodinamik evrimi, bu konuda yapılmış olan benzer çalışmalarla yapılan karşılaştırmalar kullanılmıştır. Pliyo-Kuvaterner öncesi döneme ait olan SS1-a ve SS1-b rejimleri Düvertepe Fay Zonu ve civarında; Pliyo-Kuvaterner döneme ait olan SS2 ve SS3 rejimleri ise Sındırgı Segmenti ve civarında görülmüştür. Çalışma alanındaki en genç tektonik rejim türü; günümüzde de etkin olan, KD-GB Genişleme Rejimi (SS3) altında gelişen bir rejim türüdür. Bu rejim, $K53^\circ B$ doğrultulu bir genişleme altında gelişmiştir. Bu rejim türünün, günümüzde de etkin olduğu sonucunu, bölgede meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri sonuçları da desteklemektedir. Depremlerin odak mekanizma ortak çözüm sonuçlarına göre, bölgedeki açılma (genişleme) yönünün (σ_3)= $K31^\circ D$ olduğunu; günümüzde KKD-GGB yönünde bir genişleme rejiminin daha baskın olduğunu göstermektedir. Gerek kinematik analiz sonuçlarından en genç tektonik rejim türünü temsil eden SS3'ün sonuçları, gerekse depremlerin odak mekanizma ortak çözüm sonuçlarından elde edilen genişleme yönleri, günümüzde B-GB Anadolu'da etkin olan genişleme yönüyle uyumluluk göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, FHD-2016-982 ve FBA-2016-809 numaralı ÇOMÜ-BAP projeleri ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Erdem Gündoğdu: Saha çalışmalarında veri toplamış; kinematik analiz çalışmaları, sismolojik çalışmalarda yer almış ve makaleyi yazmıştır.

Süha Özden: Saha çalışmalarında veri toplamış; kinematik analiz çalışmaları, sismolojik çalışmalarda yer almıştır.

Tolga Bekler: Sismolojik çalışmalarda yer almıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Aktuğ, B., Nocquet, J. M., Cingöz, A., Parsons, B., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gürdal, M. A., Kılıçoğlu A., Akdeniz, H. ve Tekgül, A. (2009). Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: Limits to block-like behavior. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114, 1978–2012. <https://doi.org/10.1029/2008JB006000>
- Angelier, J. ve Mechler, P. (1977). Sur Methode Graphique de Recherche des Contraintes Princ. Egalement Utilisable en Tectonique et en Sismologie: la Methode Diédre Droit, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 19, 1309-1318.
- Bouchon, M., (1981). A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71, 959-971. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/71/4/959/102036/A-simple-method-to-calculate-Green-s-functions-for?redirected>
- Carey, E. (1976). Analyse Numérique d'un Modèle Mécanique Élémentaire Appliqué a L'étuded'une Population de Failles: Calcul d'un Tenseur Moyen des Contraintes a Partir des Stries de Glissement. *Thèse de 3^o cycle*, Université de Paris-Sud, Orsay, 138.
- Carey, E. (1979). Recherche des Directions Principales de Contraintes Associées au jeu d'une Population de Failles, *Revue Geological Dynamic and Géography physic*, 21, 57-66.
- Carey-Gailhardis, E. ve Mercier, J. L. (1987). A numerical Method for Determining the State of Stress Using Focal Mech. of Earthquake Populations: application to Tibetan teleseisms and microseismicity of Southern Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 82, 165-179. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(87\)90117-8](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(87)90117-8)
- Dahm, T. (1996). Relative moment tensor inversion based on ray theory: theory and synthetic tests. *Geophysical Journal International*, 124, 245-257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb06368.x>
- Doğan, A. ve Emre Ö. (2006). Ege Graben Sistemi'nin Kuzey Sınırı: Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu, 59. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı*, 83-84.
- Dreger, D. S. ve Langston, C. A. (1995). Moment Tensor Inversion Workshop, an IRIS DMS short course, USA.
- Dreger, D. S. ve Woods, B. (2002). Regional distance seismic moment tensors of nuclear explosion, *Tectonophysics*, 356, 139–156. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00381-5](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00381-5)
- Emre, Ö. ve Duman, T. Y. (2011). 19 Mayıs 2011 Simav (Kütahya) Depremi Ön Değerlendirmesi Raporu, *MTA Jeoloji Etütleri Dairesi Yer Dinamikler Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü Aktif Tektonik Araştırmaları Birimi*.
- Emre, Ö., Doğan, A. ve Özalp, S. (2011a). Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Seri No:4, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Özalp, S. ve Duman, T. Y. (2011b). Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Uşak (NJ 35-8) Paftası, Seri No:11, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T. Y. ve Özalp, S. (2011c). Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Kütahya (NJ 35-4) Paftası, Seri No:10, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara-Türkiye.

- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Olgun, Ş. ve Elmacı, H. (2011d). Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Afyon (NJ 36-5) Paftası, Seri No:16, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. (2013). 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi*, Ankara, Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. ve Can, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- Eyidoğan, H. ve Jackson, J. A. (1985). A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969 - 70 in western Turkey: implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust, *Journal of Geophysical*, 81, 569-607. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1985.tb06423.x>
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z. ve Değirmenci, E. (1991). *Türkiye büyük depremleri makro sismik rehberi*. (1900-1988). İTÜ. Maden Fak., Jeofizik Müh. Bölümü Yay., 198s. İstanbul.
- Gündoğdu, E., Özden, S. ve Güngör, T. (2015). Simav (Kütahya) ve Yakın Çevresinin Geç Senozoyik Yaşlı Jeodinamik Evrimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 58(1), 23-37. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/ce9245cbc5d2c11_ek.pdf?dergi
- Gürer, A. ve Bayrak, M. (2007). Relation Between Electrical Resistivity and Earthquake Generation in the Crust of West Anatolia, Turkey, *Tectonophysics*, 445, 49-65. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>
- Işık, V. (2004). Kuzey Menderes Masifinde Simav Makaslama Zonunun Mikrotektonik Özellikleri, Batı Anadolu, Türkiye. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 47(2), 49-91. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/293510>
- Işık, V., Seyitoğlu, G. ve Çemen, İ. (2003). Ductilebrittle transition along the Alaşehir shear zone and its structural relationship with the Simav detachment, Menderes massif, western Turkey. *Tectonophysics*, 374, 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00275-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00275-0)
- Koçyigit, A. ve Deveci, Ş. (2005). Akşehir-Simav fay sistemi: Güneybatı Türkiye’de neotektonik rejimin başlama yaşı ve depremsellik. *Deprem Sempozyumu Kocaeli, Bildiri özleri kitabı*, 26.
- Konak, N. (1982). Simav dolayının jeolojisi ve metamorf kayaçlarının evrimi. *İstanbul Yerbilimleri*, 3, 313-337. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iuyerbilim/issue/18576/196120>
- Lister, G. S. ve Davis, G. A. (1989). The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region, U.S.A. *Journal of Structural Geology*, 11, 65-94. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(89\)90036-9](https://doi.org/10.1016/0191-8141(89)90036-9)
- Malavieille, J. (1993). Late orogenic extension in mountain belts: insights from the Basin and Range and the Late Paleozoic Variscan belt. *Tectonics*, 12, 1115-1130. <https://doi.org/10.1029/93TC01129>
- M.T.A., 2002. *Türkiye Jeoloji Haritası*. 1/500.000 ölçekli İzmir Paftası.
- Özden, S., Över, S., Kavak, K. Ş. ve İnal, S. S. (2008). Late Cenozoic stress states around the Bolu Basin along the North Anatolian Fault, NW Turkey. *Journal of Geodynamics*, 46, 48-62. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2008.04.004>
- Özden, S., Gündoğdu, E. ve Bekler, T. (2015). Interactions between Eurasian/African and Arabian plates: Eskişehir Fault, NW Turkey, *Journal of African Earth Sciences*, 111, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.08.014>
- Seyitoğlu, G. (1997). The Simav graben: An example of young E-W trending structures in the Late Cenozoic extensional system of western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 135-141. <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/abstract.htm?id=1311>
- Seyitoğlu, G. ve Işık, V. (2006). Batı Anadolu’nun Geç Tersiyer Jeolojik evrimi: Menderes masifinin yüzeyleme mekanizması ve ilişkili sedimanter havza oluşumu hakkında yeni bir tektonik model [Late Tertiary geological evolution of western Anatolia: A new tectonic model about the exhumation

- mechanism of Menderes massif and related basin formation]. 59. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri*, 18-20. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/dedb42b34e50082_ek.pdf
- Shomali, Z. H. ve Slunga, R. (2000). Body wave moment tensor inversion of local earthquakes: an application to the South Iceland Seismic Zone. *Geophysical Journal International*, 140, 63-70. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2000.00989.x>
- Sümer, Ö., Uzel, B., Özkaymak, Ç. ve Sözbilir, H. (2018). Kinematics of the Havran-Balıkesir Fault Zone and its implication on geodynamic evolution of the Southern Marmara Region, NW Anatolia. *Geodinamica Acta*, 30(1), 306-323. <https://doi.org/10.1080/09853111.2018.1540145>
- Taymaz, T., Tan, O., Özalaybey, S. ve Karabulut, H. (2002). Source characteristics of February 3, 2002 Çay-Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) sequence in SW-Turkey: a synthesis of Seismological Observations of BodyWaveforms, Strong Motions, and Aftershock Seismicity Survey Data. *1st International Symposium of Istanbul Technical University, the Faculty of Mines on Earth Sciences and Engineering*. Istanbul-Turkey, Abstracts, 60.
- Uzel, B. ve Sözbilir, H. (2008). A first record of a strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: the Cumaovası Basin. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(3), 559-591. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbtkearth/issue/12006/143683>
- Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Kaymakçı, N. ve Langereis, C. G. (2013). Structural evidence for strike-slip deformation in the İzmir-Balıkesir transfer zone and consequences for late Cenozoic evolution of western Anatolia (Turkey). *Journal of Geodynamics*, 65, 94-116. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.06.009>