

Atıf İçin: Açıkgöz, G. (2024). Ev Yapımı Alkollü İçeceklerde Etanolün Tespitinde Raman Spektroskopisi ve Temel Bileşenler Analizi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(2), 805-811.

To Cite: Açıkgöz, G. (2024). Raman Spectroscopy and Principal Components Analysis in The Qualitative Detection of Ethanol in Homemade Alcoholic Beverages. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(2), 805-811.

Ev Yapımı Alkollü İçeceklerde Etanolün Kalitatif Tespitinde Raman Spektroskopisi ve Temel Bileşenler Analizi

Güneş AÇIKGÖZ

Öne Çıkanlar:

- Boğma Rakılarda etanol kalitatif olarak incelendi.
- Raman Spektroskopisi kullanıldı.
- PCA metodu kullanıldı.

Anahtar Kelimeler:

- Raman Spektroskopisi
- Alkollü içecekler
- Temel Bileşenler Analizi

ÖZET:

Etanol içeren alkollü ve gazlı içeceklerin fazla miktarda etanol tüketimi, muhakeme yeteneğinin bozulmasına, bilinç kaybına, komaya ve hatta ölüme neden olmaktadır. Çalışmada, Türkiye'ye özgü bir alkollü içecek olan Boğma Rakı'daki etanolün Raman Spektroskopisi ve Temel Bileşenler Analizi (PCA) metodu ile kalitatif analizi amaçlanmıştır. Farklı koşullarda üretimi yapıldığı bilinen Boğma Rakı numunelerinde (22 adet) bulunan etanole ait spesifik bantlar, Raman spektroskopisi kullanılarak incelendi. Elde edilen verilere PCA metodunun uygulanması için OriginPro 2022 programı kullanıldı. Çalışmada, 100-1600 1/cm aralığında etanole ait en belirgin bandın 883 1/cm'de olduğu gözlemlendi. Numunelerin sınıflandırılması amacıyla kullanılan PCA metodu sonucunda iki tane PCs (Principal Components) değeri elde edildi. Toplam PC1 değeri %95.22 ve toplam PC2 değeri ise %4.64 olarak elde edildi ve bu değerlerin toplamının veri setinin toplam varyansının %99.86'sını oluşturduğu görüldü. Elde edilen PC1 ve PC2 değerlerinin numunelerin etanol ile ilgili olduğu saptandı. Alkollü içeceklerin Raman spektroskopisi incelenmesinin ve elde edilen verilere kemometrik metotların uygulanması, alkollü içeceklerde bulunan etanolün tespitinde etkili olduğu görüldü. Çalışmada, Raman spektroskopisinin PCA metodu ile kombinasyonunun kaçak veya yasal olmayan yollarla üretilen alkollü içeceklerdeki bileşenlerin kontrolünde tarama yöntemi olarak kullanılabilmesi sonucuna varıldı.

Raman Spectroscopy and Principal Components Analysis in The Qualitative Detection of Ethanol in Homemade Alcoholic Beverages

Highlights:

- Ethanol was examined qualitatively in Boğma Rakı.
- Raman Spectroscopy was used.
- PCA method was used.

Keywords:

- Raman Spectroscopy
- Alcoholic beverages
- Principal Components Analysis

ABSTRACT:

Excessive consumption of alcoholic and carbonated beverages containing ethanol can lead to impaired judgment, loss of consciousness, coma and even death. The aim of the study was to qualitatively analyze the ethanol in Boğma Rakı samples, an alcoholic beverage specific to Turkey, using Raman Spectroscopy and Principal Components Analysis (PCA) method. Boğma Rakı samples (22 pieces), which are known to have been produced under different conditions, were examined with Raman spectroscopy to determine specific bands of ethanol. OriginPro 2022 program was used to apply the PCA method to the data obtained. In the study, it was observed that the most prominent band belonging to ethanol was at 883 1/cm in the range of 100-1600 1/cm. Two PCs (Principal Components) values were obtained as a result of the PCA method used to classify the samples. The total PC1 value was 95.22% and the total PC2 value was 4.64%, and it was seen that the sum of these values constituted 99.86% of the total variance of the data set. It was determined that the obtained PC1 and PC2 values were related to the ethanol of the samples. It has been shown that examining Raman spectroscopy of alcoholic beverages and applying chemometric methods to the data obtained is effective in detecting ethanol in alcoholic beverages. The study concluded that the combination of Raman spectroscopy with the PCA method can be used as a screening method in the control of components in legally or illegally produced alcoholic beverages.

Güneş AÇIKGÖZ ([Orcid ID: 0000-0001-9118-3153](https://orcid.org/0000-0001-9118-3153)), Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Hatay, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Güneş AÇIKGÖZ, e-mail: gunesboraacikgoz@gmail.com

GİRİŞ

Alkollü içecek, tahılların, meyvelerin ve diğer nişastaların fermantasyonu ile üretilen, etanol içeren bir içecektir. Birçok toplumun sosyo-kültürel geleneğinde alkollü içeceklerin tüketimi önemli bir rol oynamaktadır (Arslan ve ark., 2021). Etanolün kullanımı sadece alkollü içeceklerle sınırlı değildir. Etanol, protein hidrasyonu ve biyomoleküler yapıların kendiliğinden birleşmesi gibi ürünlerde ve endüstriyel ortamlardaki biyolojik, biyokimyasal ve kimyasal işlemlerde de sıklıkla kullanılır (Sanyacharernkul ve ark., 2023).

Alkollü içeceklerin matrisi, tümü içeceğin tipik duyuşal özelliklerine katkıda bulunan etanol, su, şekerler, organik asitler, protein, peptidler, fenolikler ve uçucu aromatik bileşiklerin karmaşık bir karışımıdır (Arslan ve ark., 2021). Alkollü içeceklerde gıda katkı maddeleri ve gıda renklendiricileri, toksinler, ağır metal gibi zararlı maddelerin bulunması ve bu maddelerin vücutta birikmesi insan sağlığını olumsuz olarak etkileyebilmektedir (Li ve ark., 2022). Alkollü içeceklerin mevzuata uygun bir şekilde üretilmemesi ciddi sağlık problemlerine neden olmaktadır. Bu nedenle, alkollü içeceklerin içeriğinde bulunan etanol, metanol veya izopropanol gibi maddelerin ele alınması gerekmektedir. Etanol gibi alkoller, küçük molekül ağırlıkları ve amfifilik karakterlerinden dolayı merkezi sinir sistemine hızla dağılırlar ve bireyler üzerinde istenmeyen etkilere yol açarlar. Alkollü içecekler yoluyla az miktarda etanol tüketimi sorun oluşturmayabilir ancak daha büyük miktarlarda etanol tüketiminin muhakeme yeteneğinin bozulmasına, bilinç kaybına, komaya ve hatta ölüme neden olması mümkündür (Papaspyridakou ve ark., 2023).

Kayıt dışı alkol, tüketildiği ülkede farklı kategorilerde sınıflandırılmaktadır. “Yasa dışı olarak üretilen veya kaçakçılığı yapılan alkol ürünleri (yasadışı ev yapımı alkol dahil), yasal ancak kayıt dışı alkol ürünleri (ev yapımı veya diğer)” kategorilerinde belirtildiği ev yapımı alkollerin kayıt dışı alkol olduğu belirtilmektedir (Lachenmeier ve Rehm, 2009). Türkiye’ye özgü alkollü bir içecek olan Boğma Rakı, ev yapımı geleneksel yöntemlerle de üretilebildiğinden dolayı içerikleri hem birbirlerinden hem de diğer yasal alkollü içeceklerden farklıdır (Çevik ve ark., 2015).

Alkollü içeceklerin analizinde gaz kromatografisi gibi farklı yöntemlerin kullanılmasına karşın bu yöntemler nispeten pahalı, zaman alıcı olduğundan, son yıllarda Raman Spektroskopisi analitik bir metot olarak çok az numune hazırlama gerektirmesi veya hiç numune hazırlama gerektirmemesi, nispeten düşük maliyeti, hızlılığı ve tek taramadan birden fazla analiz yapabilme yeteneği nedeniyle popülerlik kazanmaktadır. Raman spektroskopisi ile elde edilen spektral veriler incelenen numunenin içeriği hakkında parmak izi görevi görerek numunelerin tanımlanması, karakterizasyonu ve kalite kontrolü için kalitatif ve kantitatif olarak kullanılan bir cihazdır (Smith ve Dent, 2005; Okolo ve ark., 2023). Elektromanyetik radyasyonun kullanıldığı Raman Spektroskopisinde incelenen numunelerin kimyasal yapıları ve fiziksel oluşumları hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Raman spektroskopisi toksikoloji, adli tıp, mikrobiyoloji ve daha birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Raman spektroskopisinin farklı alanlarda yaygın bir şekilde kullanılması hem teknik gelişmesine hem de elde edilen verilerin kemometrik tekniklerle daha kolay bir şekilde yorumlanmasına bağlıdır (Guo ve ark., 2020). Dolayısıyla kemometrik metotlar, oluşturulan spektral verilerden ilgili bilgileri çıkararak bu tür analitik incelemeleri tamamlamaktadır (Okolo ve ark., 2023).

Kemometrik metotlar, kısmi en küçük kareler diskriminant analizi (PLS-DA) gibi denetimli metotlar ve temel bileşenler analizi (PCA) gibi denetimsiz metotlar olmak üzere ikiye ayrılır. Spektral verilerdeki grup yapısı hakkında ön bilgi gerektiren PLS-DA metodunun aksine, PCA metodu bunu gerektirmez, bunun yerine gruplandırmanın kendisini üretir. PCA metodunun kullanılması analitik

teknikleri örüntü tanıma yöntemleriyle birleştirilmesinde, numune farklılaştırma ve sınıflandırmada temel olmuştur.

Yapılan çalışmada, Türkiye'ye özgü alkollü bir içecek olan Boğma Rakı'daki etanolün Raman Spektroskopisi ile kalitatif analizinin PCA metodu kullanılarak yapılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Numuneler

Etanol (%99.9 v/v, Sigma-Aldrich) ve farklı üretim özelliklerine sahip olduğu bilinen 22 farklı Boğma Rakı (ev yapımı) numunesi kullanıldı. Ayrıca, bu numunelerin Hatay ilinde bir kısım insanların kendi imkanlarıyla yapıp tükettiği ve ticari olarak serbest piyasada bulunmayan bir tür alkollü içki olduğu bilinmekteydi. Elde edilen Boğma Rakı numunelerinden bir tanesine %25 (v/v) oranında etanol eklenerek karşılaştırma yapılması amacıyla bir numune hazırlandı. Elde edilen numuneler ve etanol kapaklı kuvars küvetlerde incelendi.

Raman spektroskopisi

Raman spektrumları, 785 nm lazer ve Charge-Coupled Device (CCD) dedektörü ile Renishaw in Via Raman Spektroskopisi kullanılarak elde edildi. Tüm spektrumlar, 100-1600 1/cm spektral bölgede, 15 saniyelik birikim süresi, 10 mW lazer gücü ve 1 saniyelik expojur süresi ile elde edildi. 2700–3600 1/cm'deki Raman bantları (OH titreşimi) numunelerin su içeriği ile ilişkili olduğundan dolayı incelemeye dahil edilmedi. Ek olarak, X50L uzun menzilli objektifle spektrumlar elde edildi. Tüm ölçümler aynı parametrelerle yapıldı.

Veri analizi

Çalışmada denetimsiz istatistiksel yöntemlerden biri olan ve sınıflandırma amacıyla kullanılan kemometrik metotlardan biri olan PCA metodu kullanıldı ve temel bileşenler (PCs) tahmin edildi. Bileşenlerin yorumlanmasında PC1 (Principal Component 1) ve PC2 (Principal Component 2) değerleri kullanıldı. Tüm veri işleme ve PCA metodu, veri analiz yazılımı programlarından biri olan OriginPro 2022 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, United States) kullanılarak gerçekleştirildi ve elde edilen bulgular karşılaştırıldı.

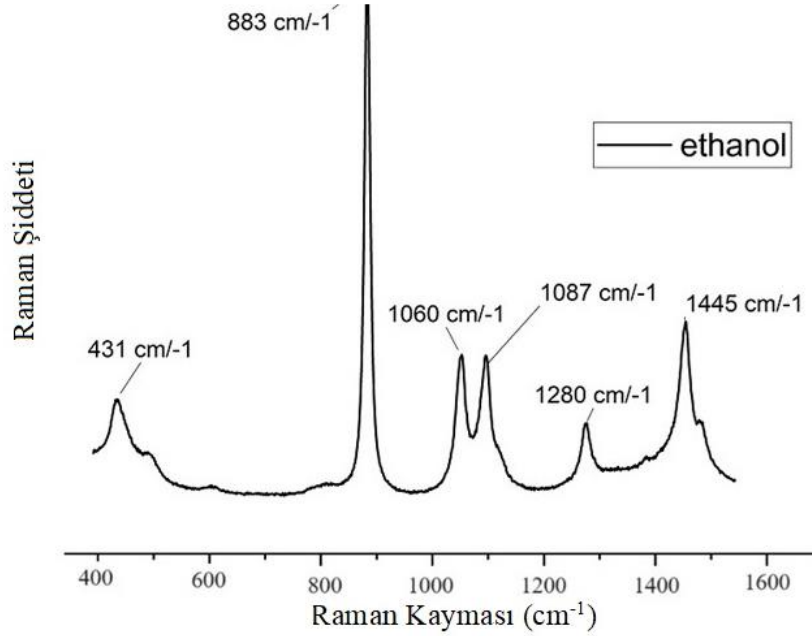
BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, farklı üretim koşullarında üretildiği bilinen toplam 22 tane Boğma Rakı ve etanole ait Raman spektrumları alındı. Karşılaştırma amacı ile etanol eklenerek hazırlanan Boğma Rakı numunesi ve Boğma Rakı numunelerinden elde edilen piklerin etanol pikleriyle aynı olduğu gözlemlendi. Boğma rakı numunelerinde etanol piklerine benzer piklerin yanı sıra içeriğinde bulunan maddelerden dolayı da farklı Raman bantlarının olduğu gözlemlendi.

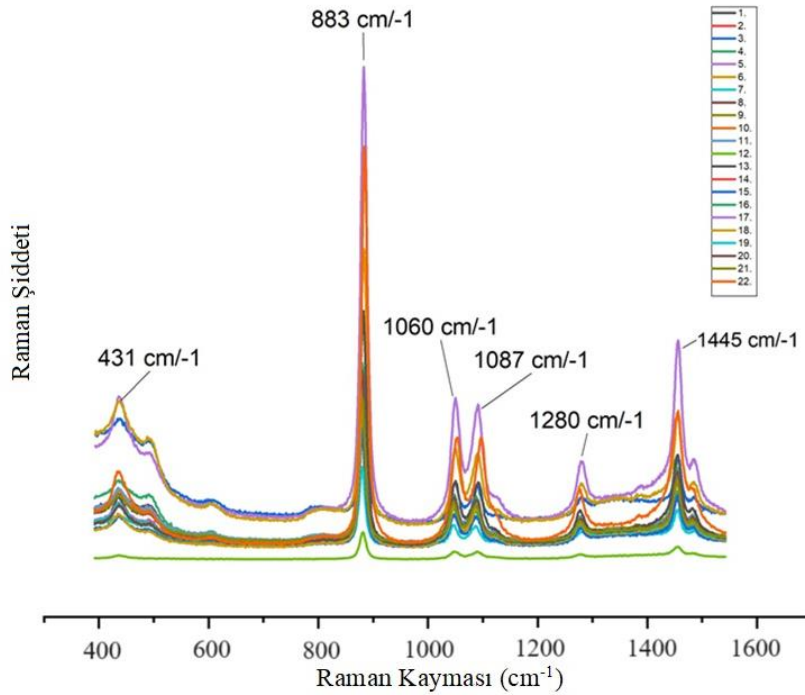
Saf etanolün ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) Raman spektrumu incelendiğinde sırasıyla 431 1/cm, 883 1/cm, 1060 1/cm, 1087 1/cm, 1280 1/cm ve 1455 1/cm'de belirgin Raman bantlarının olduğu gözlemlendi. Bu bantlar arasında en yoğun Raman bandının 883 1/cm'de olduğu ve bu bandın C–C–O simetrik esneme titreşimine ait olduğu belirlendi. Ayrıca, 883 1/cm'deki bant etanole ait en belirgin bant olarak kabul edildi (Şekil 1) ve literatürde yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu saptandı. Etanole ait en belirgin bandı, Emin ve ark. (2020) 888.8 1/cm'de, Šrámek ve ark. (2019) 880 1/cm'de, Magdas ve ark. (2019) 883 1/cm'de olduğunu yaptıkları çalışmalarda belirttiler.

Boğma Rakı numunelerinden elde edilen Raman spektrumlarında da sırasıyla 431 1/cm, 883 1/cm, 1060 1/cm, 1087 1/cm, 1280 1/cm ve 1455 1/cm'de belirgin Raman bantlarının olduğu gözlemlendi (Şekil 2). Raman spektrumlarından elde edilen belirgin bantlar, incelenen numunelerde bulunan

bileşenlerin kimyasal yapısı hakkında bilgi sağlamaktadır. Yapılan çalışmada, 431 $1/cm$ 'deki bandın C–C–O ve C–C'nin deformasyon titreşimlerine, 1060 $1/cm$ ve 1087 $1/cm$ 'deki bantların sırasıyla C–O gerilme ve CH_3 salınımına, 1280 $1/cm$ 'deki bandın $-CH_2-$ gruplarının bükülme titreşimine ve 1455 $1/cm$ 'deki bandın ise $-CH_3$ 'ün asimetrik deformasyonuna ait olduğu belirlendi (Socrates, 2001; Nordon ve ark., 2005; Menevseoglu ve ark., 2021; Papaspyridakou ve ark., 2023).



Şekil 1. Etanole Ait Elde Edilen Raman Spektrumu



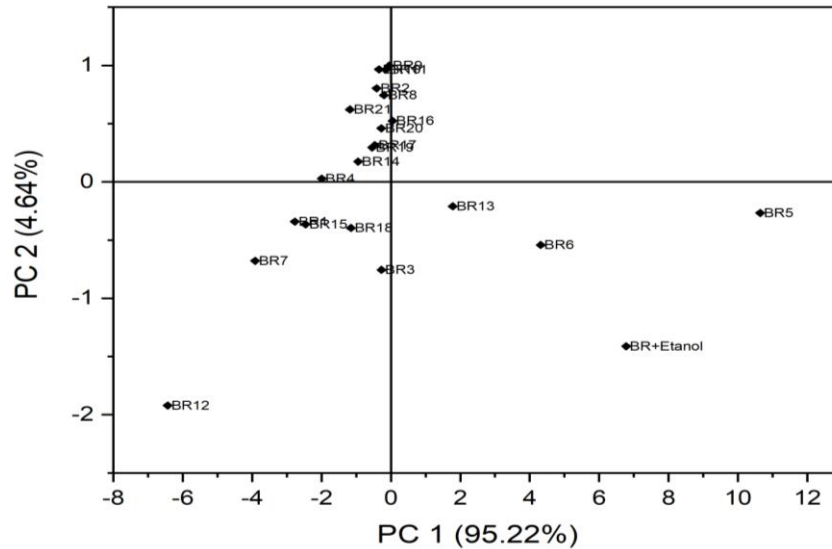
Şekil 2. Farklı Boğma Rakı Numunelerine Ait Raman Spektrumları

Raman spektroskopisinden elde edilen verilere kemometrik metotların uygulanması, alkollü içeceklerde bulunan etanolün hem kalitatif hem de kantitatif olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Kantitatif incelemelerde regresyon modeli kullanılırken, kalitatif incelemelerde sınıflandırma modeli kullanılmaktadır. Raman spektroskopisi ile elde edilen spektral verilerin yüksek

boyutluluğu nedeniyle kemometrik metotların kullanılması, birbiri ile ilişkili çok sayıda değişken içeren veri setinin boyutlarını daha az boyuta indirgeyen bir analiz sağlamaktadır. PCA, veri kümelerini en büyük varyans kaynaklarını temsil eden yön boyunca yansıtır ve bir veri kümesinin temsili özelliklerini yakalar. Denetimsiz bir yöntem olduğundan dolayı ortaya çıkan bileşenlerin doğrudan sınıflandırmayla ilgili modelleri ortaya çıkarması gerekmez. İlk temel bileşenler, veri kümesindeki en büyük varyansları temsil eder ve bunlar büyük olasılıkla grup içi varyasyonlar olabilir. PCA kısaca, özellik çıkarma ve veri temsil etme tekniğidir (Guo ve ark., 2020).

Yapılan çalışmada, Raman spektroskopisi ile incelenen Boğma Rakı numunelerine ait spektrumlar ve bu spektrumlardan elde edilen çok fazla veri olduğundan dolayı PCA metodu kullanıldı. Elde edilen spektrumlardaki verilere dayalı etanol içeriklerinin farklı olup olmadığını da tespiti ve karşılaştırılması PCA metodu ile sağlandı. Karşılaştırma yapmak amacıyla hazırlanan ve etanol içeriği bilinen standart BR+etanol numunesiyle diğer numunelerin karşılaştırılması yapıldı. Boğma Rakı numunelerinde farklı oranlarda etanolün bulunduğu ve farklı üretim metotlarıyla üretildiklerinden dolayı birbirleriyle uyumlu olmadığı sonucuna varıldı.

Numunelerin Raman spektroskopisi ile incelenmesi sonucu elde edilen veriler, OriginPro 2022 programına aktarılarak PCA analizi yapıldı ve PC1 ve PC2 bileşenleri elde edildi. İki tane PC's'nin elde edilmiş olması etanol varlığını açıklamada yeterli oldu. Çünkü ilgili tanımlayıcıların belirli bir kombinasyonunun etkisini benzersiz bir şekilde yakaladığı için az sayıda PC kullanmak yeterli olmaktadır (Açıkgöz ve Çolak, 2023). Çalışmada numunelerin sınıflandırılması için toplam PC1 değeri %95.22 ve toplam PC2 değeri ise %4.64 olarak elde edildi. Toplam PC1 ve PC2 değerleri veri setinin toplam varyansının %99.86'sını oluşturduğu görüldü. Elde edilen PC1 ve PC2 değerlerinin numunelerin etanol içeriğiyle ilgili olduğu saptandı. Çizelge 1 incelendiğinde en yüksek ilk üç PC1 değerine sahip numunelerin sırasıyla BR5, BR+Etanol ve BR6 olduğu görüldü. Ayrıca, PC2'nin PC1'e karşılık elde edilen görselinde de sınıflandırmanın yapılabilirliği gözlemlendi (Şekil 3).



Şekil 3. Boğma Rakı Numunelerinin Raman Spektrumlarından Elde Edilen Verilere Dayalı Olarak Elde Edilen PCA Skorları (PC2'ye karşı PC1)

Literatürde alkollü içeceklerin içeriğindeki etanolün belirlenmesinde Raman Spektroskopisi ve PCA metodunun birlikte kullanıldığı çalışmalar ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar uyumluluk göstermektedir. Frausto-Reyes ve ark. (2005) tekila numunelerindeki etanol içeriğini niteliksel olarak incelemek için Raman spektroskopisi ve PCA metodunu kullandılar. Raman spektroskopisi ve PCA

metodunun kullanımının alkollü içeceklerdeki etanol içeriğini niteliksel olarak belirlemek için mükemmel bir yöntem olabileceği sonucuna vardılar.

Çizelge 1. PCA Metodu ile Elde Edilen Boğma Rakı Numunelerine Ait PC1 ve PC2 Skorları

Numuneler <i>Skor etiketleri</i>	PC 1 (%95.22) <i>Skorlar</i>	PC 2 (%4.64) <i>Skorlar</i>
BR1	-2.76816	-0.34108
BR2	-0.41382	0.80282
BR3	-0.27326	-0.75566
BR4	-1.99232	0.02794
BR5	10.63929	-0.26759
BR6	4.31695	-0.54225
BR7	-3.91461	-0.67829
BR8	-0.1984	0.74468
BR9	-0.05066	0.99721
BR10	-0.34362	0.96542
BR11	-0.15335	0.9629
BR12	-6.43125	-1.92007
BR13	1.78211	-0.21079
BR14	-0.94324	0.17439
BR15	-2.46029	-0.36484
BR16	0.04332	0.52392
BR17	-0.46226	0.31469
BR18	-1.15278	-0.39597
BR19	-0.54274	0.29464
BR20	-0.27944	0.45949
BR21	-1.17901	0.62074
BR+Etanol	6.77756	-1.4123

^aBR+Etanol: Ev yapımı BR numunesi ve etanol eklenmiş numune

Kiefer ve Cromwell (2017) Raman Spektroskopisi ve PCA metodu kullanarak viski şişesinin kapağını açmadan incelediler. Yaptıkları çalışmada, Raman Spektroskopisi ve PCA metodunun kombinasyonunun viskinin içeriğinin tespitinde ideal bir metot olduğu tespit ettiler. Yapılan çalışmada da Boğma Rakı numunelerinde etanolün kalitatif olarak tespitinde, Raman spektroskopisi ve PCA metodu kombinasyonunun birlikte kullanılabilmesi kanıtlandı.

SONUÇ

Çalışmada, Boğma Rakı numunelerinde etanolün kalitatif olarak belirlenebilmesi amacıyla Raman spektroskopisi ve PCA metodu kullanıldı ve numunelerin başarılı bir şekilde karakterizasyonu gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlar, PCA metodu ile kombinasyon halinde Raman Spektroskopisinin kaçak veya yasal olmayan yollarla üretilen alkollü içeceklerdeki bileşenlerin kontrolü için tarama yöntemi olarak faydalı olabileceğini gösterdi. Ayrıca, kolay uygulanabilirliği, invaziv bir yöntem olmaması ve elde edilen Raman bantları ile incelenen numunenin içeriği hakkında da bilgi sağlaması bakımından Raman spektroskopisinin kullanımının farklı çalışmalarda da avantaj sağlayacağı ispatlandı.

TEŞEKKÜR

Çalışmada, Boğma Rakı numunelerinin toplanmasında emeği geçen merhum meslektaşımız Dr. Öğr. Üyesi Berna HAMAMCI'ya (06.02.2023) teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, G., Çolak, A. (2023). Illicit drug analysis in blood samples with multivariate analysis using Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. *Spectroscopy*. 38 (S6), 20–27.
- Arslan, M., Tahir, H.E., Zareef, M., Shi, J., Rakha, A., Bilal, M., Xiaowei, H., Zhihua, L., Xiaobo, Z. (2021). Recent trends in quality control, discrimination and authentication of alcoholic beverages using nondestructive instrumental techniques. *Trends in Food Science & Technology*. 107, 80-113.
- Cevik, C., Ozler, G., Arli, C., et al. (2015). Electron microscopic examination of effects of Boğma raki and walnut on cochlea: An experimental study. *Human & Experimental Toxicology*. 34(3), 266-271.
- Emin, A., Hushur, A., Mamtimin, T. (2020). Raman study of mixed solutions of methanol and ethanol. *AIP Advances*. 10, 065330.
- Frausto-Reyes, C., Medina-Gutiérrez, C., Sato-Berrú, R., Sahagún, L.R. (2005). Qualitative study of ethanol content in tequilas by Raman spectroscopy and principal component analysis. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 61(11–12), 2657-2662.
- Guo, S., Rösch, P., Popp, J., Bocklitz, T. (2020). Modified PCA and PLS: Towards a better classification in Raman spectroscopy-based biological applications. *Journal of Chemometrics*. 34, e3202.
- Kiefer, J., & Cromwell, A. L. (2017). Analysis of single malt Scotch whisky using Raman spectroscopy. *Analytical Methods*. 9(3), 511–518.
- Lachenmeier, D.W., Rehm, J. (2009). Unrecorded alcohol: a threat to public health? *Addiction*. 104, 875–877.
- Li, L., Cao, X., Zhang, T., Wu, Q., Xiang, P., Shen, C., Zou, L., Li, Q. (2022). Recent Developments in Surface-Enhanced Raman Spectroscopy and Its Application in Food Analysis: Alcoholic Beverages as an Example. *Foods*. 11(14), 2165.
- Magdas, D.A.I., Cozar, B.I., Feher, I., Guyon, F., Dehelean, A., Pinzaru, S.C. (2019). Testing the limits of FT-Raman spectroscopy for wine authentication: Cultivar, geographical origin, vintage and terroir effect influence. *Scientific Reports*. 9, 19954.
- Menevseoglu, A., Aykas, D.P., Hatta-Sakoda, B., Toledo-Herrera, V.H., Rodriguez-Saona, L.E. (2021). Non-Invasive Monitoring of Ethanol and Methanol Levels in Grape-Derived Pisco Distillate by Vibrational Spectroscopy. *Sensors*. 21(18), 6278.
- Nordon, A., Mills, A., Burn, R.T, Cusick, F.M, Littlejohn, D. (2005). Comparison of non-invasive NIR and Raman spectrometries for determination of alcohol content of spirits. *Analytica Chimica Acta*. 548, 148-158.
- Okolo, C.A., Kilcawley, K.N., O'Connor, C. (2023). Recent advances in whiskey analysis for authentication, discrimination, and quality control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 22, 4957–4992.
- Papaspyridakou, P., Giannoutsou, P., Orkoulas, M.G. (2023) Non-Destructive and Non-Invasive Measurement of Ethanol and Toxic Alcohol Strengths in Beverages and Spirits Using Portable Raman Spectroscopy. *Biosensors*. 13, 135.
- Sanyacharenkul, S., Discharoen, N., Chanpichai, N., Boondech, A., Promma, T., Sa-ardsin, W. (2023). Quantitative Determination of Ethanol in Local Thai Alcoholic Beverages by Raman Spectroscopy. *International journal of interdisciplinary research and reviews*. 30, 18(3).
- Smith, W.E., Dent, G. (2005). *Modern Raman Spectroscopy – A Practical Approach*. Chapter 1: Introduction, Basic Theory and Principles. John Wiley & Sons, Ltd ISBNs: 0-471-49668-5 (HB); 0-471-49794-0 (Pb).
- Socrates, G. (2001). *Infrared and Raman characteristic group frequencies. Tables and charts*, 3rd ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester (UK).
- Šrámek, J., Švancara, I., Sys, M. (2019). Determination of ethanol in alcoholic drinks using Raman spectrometry. *Scientific papers of the University of Pardubice*. 25, 5-14.