



Karadeniz Bölgesindeki Asidik Yağışların Su Kalitesine ve Çevreye Etkisi

Akçakoca ilçesi ve yakın çevresi, Sibiryaya üzerinden gelen ve asidik yağış (yağmur ve kar) taşıyan bulutların etkisi altında olduğu, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne desteklenen araştırma projesi ile belirlenmiştir. Söz konusu asidik yağışlar, Sarıayla Barajı ham suyunda Fe, Al, Zn ve Mn gibi elementlerin zenginleşmesinde etken olmuştur. Türkiye'nin kuzeyinde batıdan-doğuya doğru, Sakarya'dan başlayarak Artvin'e kadar uzanan bölgede, sağanak yağış sonrasında göl, gölet veya barajlarda biriken ve buralardan alınarak içme suyu şebekesine verilecek ham sulara fiziksel iyileştirmeden ziyade, arıtma işleminin uygulanması halk sağlığı korunması için gereklidir. Aynı zamanda, bölgedeki asidik yağışların olumsuz etkilerini ormanlık alanlarda ve yüzyıllar öncesi inşa edilmiş tarihi eserlerde de görmek mümkündür.

Yrd. Doç. Dr. Rüstem PEHLİVAN

Yrd. Doç. Dr. Hasan EMRE

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji

Mühendisliği Bölümü,

34320 Avcılar İstanbul

e-posta: pehlivan@istanbul.edu.tr

Akçakoca, Düzce ilinin deniz kenarındaki tek ilçesidir. 37119 kişinin yaşadığı ilçede, yaz aylarında nüfus 100000 kişiye ulaştığı için çoğu zaman geçmiş yıllarda Akçakoca'da içme suyu sıkıntısı yaşanmaktaydı. O yüzden, ilçedeki içme

su su sorununu Sarma Deresi üzerine DSİ (Devlet Su İşleri) Genel Müdürlüğü tarafından yapılan ve 2016 yılında hizmete giren Sarıayla Barajı ile çözülmüştür (Şekil 1). Sarıayla Barajı su havzası, Sibiryaya üzerinden gelen bulutların etkisi altındadır. Bölgede gerçekleşen yağmur ve kar yağışlarının asidik olduğu konusunda da ulusal medyada haberler yer almaktadır.

Akçakoca İlçesindeki Sarma Deresi Ham Suyunun Hidrojeokimyasal Özelliklerini tespiti için İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce 24781 nolu araştırma projesi desteklenmiş ve proje Kasım 2014 yılında tamamlanmıştır. Proje kapsamında arazide yapılan ölçümlere göre bölgede gerçekleşen yağışların ilk 40 dakikasında yağmur suyunun asidik karakterde olduğu belirlenmiştir. Sarma Deresi havzasından alınan yağış ve dere suyu örneklerinin ana iyon analizleri (Na, K, Ca, Mg, SO₄, HCO₃, Cl, NH₄, NO₃) İstanbul Halk Sağlığı Laboratuvarında, bazı element ve ağır metal analizleri (Al, Fe, As, Ag, Hg, Co, Cd, Cr, Pb, Ni, Ti, Ba, Mn, Zn, Cu, Se, Sb, B ve U) ise ALS Global (Kanada) laboratuvarında ICPMS yöntemiyle yaptırılmıştır.

Projenin sonuç raporunda yer alan öneriler

arasında, bölgede kısa süren ve bol miktarda yağış bırakan sağanak türdeki asit yağışlarına karşı yöre halkının ve yerel yöneticilerin duyarlı olması konusuna dikkat çekilmiştir. Öte yandan, proje sonuçları, ulusal ve uluslararası bilim camiasının bilgisine de Sarma Deresi Havzasındaki Yağışın Ayırışma ve Su Kalitesine Etkisi (1) ve Sarma Deresi Suyunun Hidrojeokimyası ve Kullanılabilirliği konusunda (2) yapılan yayınlarla sunulmuştur.

Bilindiği gibi, atmosferik olaylar, asidik yağış ve canlıların (insan, hayvan ve bitkilerin) etkisiyle kayaç ve minerallerde meydana gelen değişimlere "ayırışma" denir. Ayırışan kayaç ve minerallerde öncelikle, parçalanma, dağılıma ve dökülme gerçekleşir. Bazı kayaçlar örneğin dolomit ve kireçtaşları süratle ayırışırken, bazıları örneğin granit uzun yıllar ilk orijinal durumunu koruyabilir. Ayırışma sonucunda kayaçların mineralojik, petrografik, yapısal ve fiziko-mekanik özellikleri değişir.

Asit Yağışlarının Su Kalitesi Etkisi

Doğal suların kimyasal bileşimleri, jeolojik birimlerle olan etkileşim, kayaçlarda gelişen kimyasal ayırışmalar ve/veya çevresel etkenler sonrasında değişebiliyor. Bu değişim, kayaç, mineral ve top-



Şekil 1: Sarıayla Barajı mevki ve Sarma Deresi havzasına yağış getiren bulutların geliş yönlerini gösterir uydu haritası.

raktan mobilize olan iyonların sulara geçmesi şeklinde gerçekleşir. Bu değişimde, asit yağışlarının da olumsuz yönde etkisi söz konusudur.

Doğal sularda bulunan bazı iyonların Dünya Sağlık Örgütü ve Amerika Çevre Koruma Ajansı içme suyu limit değerlerinde veya üzerinde olması, insan sağlığı açısından sorun yaratabiliyor. Tüketilen içme suyunda Mn varsa karaciğer ve sinir, Al varsa Alzheimer, NO₃ varsa deri ve solunum yolu vb. gibi hastalıklara yakalanma riski (ihtimali) olmaktadır (3, 4). Su, sağlıklı bir yaşam için tüketilmesi gereken zorunlu maddelerdendir. İnsan vücudunun yaklaşık %60-70'i sudur. İçme amacıyla tüketilen sular, temiz ve kaliteli olmalı, pestisit kalıntısı içermemeli, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirli kalite parametrelerine uymalıdır.

24871 nolu araştırma projesi verilerine göre, yağmur suyu (SD1) kar suyuna (SD4) göre NH₄⁺, NO₃⁻ ve SO₄²⁻ gibi iyonlarca, kar suyu yağmur suyuna göre Al, Ba, Cu, Pb, Mn, Ni, Si, U ve Zn gibi bazı ağır metal ve elementlerce zengindir (Tablo 1). Sonbahar mevsimine ait yağmur suyu (SD1) ve dere suyu (SD2) analiz sonuçları karşılaştırıldığında Al, Sb, Ag, Cr, Fe, Pb ve Zn gibi elementlerin yağmur suyunda daha fazla miktarda içerildiği görülmektedir. Yağışlı döneme ait dere suyu (SD2) ile kurak döneme ait dere suyu (SD5) analiz sonuçları karşılaştırıldığında ise yağışlı dönem dere suyunun NH₄⁺, K, Ca, NO₃⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ ve Cr gibi iyonlarca da zengin olduğu görülmektedir.

Sarma Deresi havzası dere sularındaki bazı iyonlar, yağmur ve kar yağışı etkisiyle Dünya Sağlık Örgütü (3), Amerika Çevre koruma Ajansı (4), İnsanı Tüketim Amaçlı Sular (5) ve Avrupa Birliği (6) içme suyu limit değerlerini (Tablo 2) (örneğin Al, Fe ve Mn iyonlarınca) aşmaktadır. O yüzden, Türkiye'nin Kuzeyinde yaz ve sonbahar mevsimlerinde gerçekleşen kısa süreli yoğun yağışların etkisindeki yüzeysel suların (baraj, göl ve göletlerin) içme amaçlı olarak kullanılanlarının ham sularında arıtma işlemine ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

Asit Yağışlarının Karadeniz Bölgesi'ne Etkisi

Günümüzde, sanayide çok çeşitli kimyasal ürünün kullanılması, ısınma ve elektrik enerjisi üret-

Tablo 1: Yağış ve dere suyu örneklerinin ana iyon (mg/l) ve bazı element (ppb) analiz sonuçları.

	SD1 Yağmur suyu (2012)	SD2 Dere suyu (memba) (2012)	SD4 Kar suyu (2013)	SD5 Dere suyu (membra) (2013)
NH ₄ ⁺	0.2	0.05	0.1	-
Na ⁺	2.3	3.7	1.8	4.4
K ⁺	1.2	0.6	0.7	0.1
Ca ₂ ⁺	3.4	18.8	10	15.3
Mg ₂ ⁺	0.4	2.4	0.2	2.2
Cl ⁻	3.0	2.87	1.33	2.2
NO ₃ ⁻	1.45	1.11	0.49	0.2
SO ₄ ²⁻	5.29	8.89	0.71	6.0
HCO ₃ ⁻	9.8	63.4	30.5	54
Al	56.9	27.8	254	105
Sb	0.1	<0.1	0.1	<0.1
As	0.3	0.8	0.2	0.79
Ba	7.1	21.6	45.5	19.6
B	<10	11	<10	11
Cd	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cr	1.66	0.9	1.59	0.77
Co	<0.1	<0.1	<0.1	0.12
Cu	2.38	1.39	8.3	2.72
Fe	87	45	88	147
Pb	1	0.4	1.5	0.77
Li	<5	<5	<5	<5
Mn	4.86	3.95	9.59	11.8
Hg	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ni	0.9	<0.5	1.4	1.34
Se	<1	<1	<1	<1
Si	254	5650	465	6060
Ag	0.024	0.010	0.013	0.23
Ti	<10	<10	<10	<10
U	<0.010	<0.028	0.15	<0.03
V	<1	<1	<1	<1
Zn	15.7	<3	45	6.2

Tablo 2: İçme sularının Dünya Sağlık Örgütü (3), Amerika Çevre Koruma Ajansı (4), İnsani Tüketim Amaçlı Suların (5) ve Avrupa Birliği (6) limit değerleri (mg/l)

İyonlar	İçme Suyu (3)	İçme Suyu (4)	İnsani Tüketim Amaçlı Sular (5)	İçme Suyu (6)
pH	6.5-9.5	6.5-8.5	6.5-9.5	6.5-9.0
Pb	0.01	0.015	0.01	0.01
Cr	0.05	0.1	0.05	0.05
As	0.01	0.01	0.01	0.01
Se	0.04	0.05	0.01	0.01
Cn	0.17	0.2	0.05	0.05
Cd	0.003	0.005	0.005	0.005
Co	X	0.002	X	X
Ag	0.05	0.1	X	X
Sb	0.02	0.006	0.005	0.005
Sn	0.002	X	X	X
Hg	0.006	0.002	0.001	0.001
Fe	0.3	0.3	0.2	0.2
Ni	0.07	X	0.02	0.02
Mn	0.4	0.05	0.05	0.05
Mo	0.07	X	X	X
Cu	2.0	1.3	2.0	2.0
Zn	0.05	5.0	X	X
Al	0.2	0.2	0.2	0.2
Na	200	X	200	200
K	X	X	X	X
Ca	X	X	X	X
Mg	X	X	X	X
Ba	0.7	2.0	X	X
B	2.4	X	1.0	1.0
U	0.03	0.03	X	X
Cl	250	250	250	250
F	1.5	4.0	1.5	1.5
NH ₄	0.2	X	0.5	0.5
SO ₄	500	250	250	250
NO ₃	50	10	50	50
X veri yok				

me işleminde ekonomik olması nedeniyle kömür ve petrol kökenli fosil yakıtlar tercih edilmektedir. Fosil yakıtların yanması sonrasında açığa çıkan kükürt ve azot oksitler atmosferde birikmektedir. Atmosferde biriken bu gazlar, kimyasal dönüşümlerden geçtikten sonra bulutlardaki su damlacıkları tarafından emilmekte. Sülfürik asit ve nitrik asitçe zenginleşen bu damlacıklar, suyun hidrolojik çevrimi sırasında yeryüzüne yağmur ve kar yağışı olarak düşmektedir. Asit yağış olarak da tanımlanan bu tür yağışların pH değerleri 5,6'dan küçüktür (7, 8).

Literatüre göre, pek çok Avrupa ülkesinde (Örneğin Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Finlandiya, Fransa, Almanya, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Rusya, İsveç, İsviçre ve İngiltere'de) son 32 yıllık dönemde gerçekleşen yağışlar asidik karakterlidir (9). Asit yağışları, her ne kadar gelişmiş ülkelerde görülse de tüm dünyayı tehdit eden sorun olmaya devam etmektedir. Bu bilgi, Akçakoca ve yakın çevresine asidik yağış getiren bulutların etkilendiği alanları göstermesi açısından da önemlidir. Akçakoca'ya yağış taşıyan bulutların geliş yönleri (arazide yapılan gözlemlere göre) en çok Sibiryaya tarafından (A yönü - KD'dan), az oranda Avrupa tarafından (B yönü - KB'dan) ve çok az oranda ise Balkanlar (C yönü - Batıdan) tarafından geldiği belirlenmiştir (Şekil 1). Öte yandan, Karadeniz kıyısı boyunca, İstanbul'dan doğuya doğru (Akçakoca'ya kadarki bölgede) hakim rüzgar yönü ve asidik yağışlara karşı cephe oluşturan dağların jeomorfolojik konumu dikkate alındığında, Zonguldak civarındaki bazı sanayi kuruluşlarından kontrolsüz şekilde bırakılan gazların atmosfere salınma ihtimali söz konusu olabilir. Bu durumun bölgede gerçekleşen asidik yağışlara ne oranda katkı vereceği ise tartışmalıdır. İnceleme alanının KD'sundaki Sibiryaya üzerinden gelen ve yağış taşıyan bulutlar, Karadeniz'e paralel uzanan dağları aşmadığı için yörede gerçekleşen yağışların tamamı dağların kuzeyine düşmektedir. Söz konusu yağışların bir kısmı, yörede yer alan baraj, göl ve göletlerde birikir. (10) tarafından "Karadeniz Atmosferinde Eser Element Taşınımı" konusunda yapılan bilimsel araştırmada, günümüzden tam 23 yıl önce, gelecek yıllarda, Batı Karadeniz Bölgesinde görülecek yağışların asidik karakterli



Şekil 2: Çek Cumhuriyeti'ndeki bir ormanda gözlenen asit yağmurunun olumsuz etkisi (Fotoğraf Oliver Strewe).

olacağı ve çevre sorunu yaratacağına dair öngörülerini oldukça ilginçtir.

Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü tarafından 1999 yılında başlatılan hava kirliliği ve asit yağmurları konulu araştırma ve inceleme sonucuna göre, Orta Avrupa ve Rusya'dan gelen hava sistemlerinin etkisiyle Karadeniz ormanları asit yağmuruna maruz kalmaktadır. Böyle giderse Amasra (Bartın) ormanları yok olacaktır (11) görüşü yazılı ulusal basında da yer almıştır.

Asit Yağışlarının Olası Diğer Etkileri

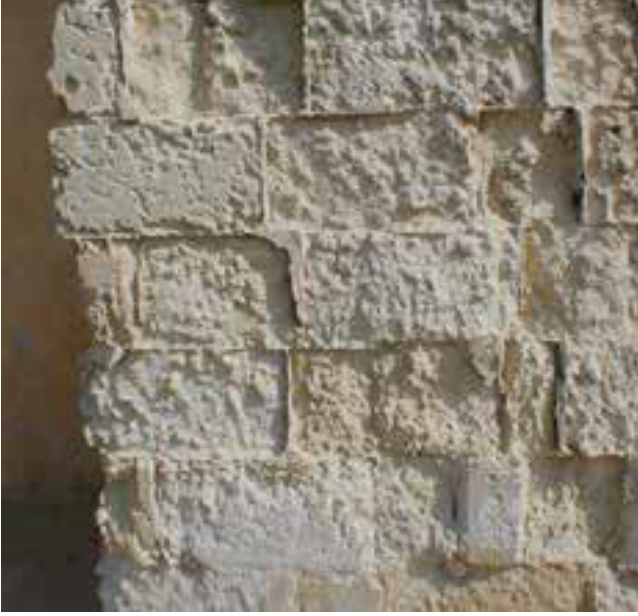
Bilindiği gibi, asit yağışları, değişik oranlarda olmak üzere tüm canlıları ve doğal çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Asit yağışlarından en çok ormanlar, göller, akarsular, toprak ve tarım alanları ile tarihi eserler zarar görür.

Asit yağışları, en çok ormanların kuruyup (12) yok olmasına (Şekil 2) ve yüzey sularındaki asit dengesinin bozularak balıkların etkilenmesine neden olur. Asit yağışları, toprağın jeokimyasını etkileyerek topraktaki alüminyum (Al), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) gibi elementlerin taban suyuna taşınmasına neden olur ve böylelikle, toprağın zirai verimi düşer. Asit yağışlarına maruz kalan meyve ve sebzelerin kalitesi de olumsuz yönde etkilenir.

Açık arazide bulunan tarihi eserlerden dolomit veya kireçtaşlarında oyulanlar (Örneğin kaya mezarları, manastırlar vs.) ile inşasında veya dış kaplamasında karbonat (CaCO_3) bileşimli (doğal taş kullanılmış) olan tarihi eserler, heykeller, asit yağışlarından olumsuz yönde etkilenmektedir (Şekil 3) (12). Aynı zamanda, tarihi eserlerin yapımında kullanılmış olan kayalarda (Şekil 4) ve



Şekil 3: George Washington'un heykeline asit yağmurlarının verdiği zarar (Fotoğraf Spencer Platt).



Şekil 4: Tarihi yapılardaki doğal taşlarda gelişen ayrışma.

harçlarda (Şekil 5) da asit yağışı etkisiyle ayrışmalar gelişebilir (13). O yüzden, Sakarya'dan Trabzon'a kadar, Karadeniz'e paralel uzanan dağların kuzeyinde yer alan Akçakoca Ceneviz Kalesi (Düzce), Filyos Antik Kenti (Zonguldak), Safranbolu Kalesi ve Cinci Hanı (Karabük), Amasra Kalesi (Bartın), Taşköprü (Kastamonu), Pervane Medresesi ve Boyabat Kalesi (Sinop), Eski Taşbaşı Kilisesi (Ordu), Tirebolu ve Eynesil Kaleleri (Giresun), Trabzon Kalesi ve Sümela Manastırı (Trabzon) ile Kız Kalesi (Rize) gibi tarihi eserlere, asidik yağışların zaman içerisinde olumsuz etkileri olabilecektir.

Öneriler

Karadeniz Bölgesi'nin Kuzeyi, Akçakoca ve yakın çevresinde olduğu gibi, Sibiryaya üzerinden gelen asidik yağış taşıyan bulutların etkisi altın-



Şekil 5: Tarihi yapılardaki doğal taşlar arasında gelişen derz boşalması.

dadır. Sarma Deresi havzasında m²'ye bol yağış bırakan ve kısa süreli (30-40 dakika kadar süren) asidik yağışların etkisiyle Sarıayla Barajı ham suyunda Fe, Al, Zn ve Mn gibi elementlerce zenginleştiği tespit edilmiştir. O yüzden, söz konusu elementlerin insan sağlığına olası olumsuz etkilerinin önlen(ebil)mesi için gelecek ay veya yıllarda, Türkiye'nin kuzeyinde, batıdan - doğuya doğru, Sakarya'nın kuzeyinden başlayarak Artvin'e kadar olan bölgede (Bakınız!, Şekil 6), asidik yağışlara karşı cephe oluşturan dağların kuzeyindeki alanlarda gerçekleştirilecek sağanak türdeki yağışlar sonrasında göl, gölet veya barajlarda birikecek sular, içme amaçlı olarak şebekeye verilmeden önce, fiziksel iyileştirmeden ziyade arıtma işlemi yapılmalıdır.

Yüzyıllar öncesinde, inşa edilmiş tarihi eserlerde, kullanılan jeolojik malzemelerin ayrışmayan



Şekil 6: Karadeniz Bölgesi'nde asidik yağışların etkili olduğu bölgeleri gösterir harita.

kayaçlardan seçilmesinin tarihi eserin ömrüne olumlu yöndeki etkisi, tarihi yapılarda gözlenebilmektedir. Günümüzde, çevresel etkenler (hava kirliliği, asit yağmuru ve meteorolojik koşullar) karşısında bile varlığını sonsuza kadar sürdürebilecek doğal yapı malzemelerini tarihi eserlerinde onarımında da kullanmak mümkündür. O yüzden, onarımı (restorasyonu) yapılacak tarihi eserlerde veya yapılarda kullanılacak olan yeni doğal taşların, eski doğal taşlarla uyumlu olabilmesi için doğal taşların mineralojisi, petrografisi ve jeokimyasını bilmek gerekir.

Tarihi eserler, olumsuz fiziksel ve biyolojik etkenler ile asidik yağışlardan korun(a)madıkları an, zaman içerisinde aşınıp tahrip olabilmektedir. Asidik yağış etkisinin görüldüğü alanlardaki köprü, han, hamam, cami, kilise, manastır ve kaya mezarları gibi tarihi eserler onarılacağı zaman, bağlayıcı olarak kullanılacak harçla birlikte jips (alçıtaşı) ve tras (puzolan) gibi jeolojik malzemeler de kullanılmalıdır. Tarihi eser onarımında kullanılacak harcın içerisinde ise en çok %1 kadar $CaSO_4$ (jips), en az %10 kadar SiO_2 (kuvars), en az %15 kadar Al_2O_3 (kil) ve en az %60 kadar $CaCO_3$ (kalsit tozu veya kireç) katılmalıdır. Aynı zamanda, söz konusu mineralojik bileşim, portland çimentosunun kimyasına uygun mineralojik bileşimi de ifade eder. Bu tür harçlar, Edirne'deki tarihi yapıların onarımında kullanılmıştır (03-05 Mart 2017 Trakya Endüstriyel Hammaddeler Çalıştayı-Edirne, turizm tanıtım gezisi, sözlü bilgi).

Ayrıca, asidik yağış alan bölgelerde meyve, sebze ve bitki üretimi yapılacaksa asidik yağışların olumsuz etkilerinden korunmak için sera kullanımı tercih edilmelidir.

Değerlenen Belgeler

- (1) Pehlivan, R., 2016. Sarma Deresi Havzasındaki Yağışın Ayrışma ve Su Kalitesine Etkisi, Düzce, Türkiye, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 40 (1) :103-121.
- (2) Pehlivan, R., ve Emre, H., 2017. Potability and Hydrogeochemistry of the Sarma Stream Water, Duzce, Turkey. DOI: 10.1134/S0097807817020117, Water Resources 44 (2) 315–330.
- (3) WHO, 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, Fourth Edition, World Health Organization, 541p, ISBN 978 92 4 154815 , Geneva, Switzerland.
- (4) USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2009. National Primary Drinking Water Regulations, Office of Water, EPA 816-F-09-004, 6p., USA (<http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html>).
- (5) Resmi Gazete, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sağlık Bakanlığı, RG 25730, 27s., Ankara.
- (6) European Union, 1998. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Official Journal, L330, 32-54.
- (7) Charlson, R. J. ve Rodhe, H., 1982. Factors Controlling the Acidity of Natural Rainwater. Nature, Vol. 95, pp. 683-685.
- (8) İlhan, A.İ., Öz, N., Dündar, C., Kenet, F., ve Balta, T., 2006. Asit Yağmurları Ve Hava Kirliliği Değerlendirme Raporu, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Teknik Rapor, 361 s., Ankara.
- (9) Lağitha, K., and Jones, J., 2013. Trends in cation, nitrogen, sulfate and hydrogen ion concentrations in precipitation in the United States and Europe from 1978 to 2010: a new look at an old problem, Biogeochemistry 116:303–334.
- (10) Tuncel, G., Balkas, T., Arami, M., Ataman, Y., Olmez, I., Tuncel, S., Hacısalihoğlu, G., Eliyakut, F., Anwari, M., ve Herman, D., 1991. Karadeniz Atmosferinde Eser Element Tasınım, TÜBİTAK, DEBCAG 48 : 1-153.
- (11) İlhan, A.İ., 2010. Karadeniz'de ormanlara asit yağıyor (<http://www.hurriyet.com.tr/karadenizde-ormanlara-asit-yagiyor-15124539>).
- (12) Averill, B.A., Eldredge, P. (2012). Principles of General Chemistry (v. 1.0), Chapter 4 Reactions in Aqueous Solution, <http://2012books.lardbucket.org/>, pp. 402-558.
- (13) Çelik, O.C. (2015) : Tarihi Yapı Onarım ve Güçlendirme Rehberi, 52s., www.master-builders-solutions.basf.com.tr.