

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**STABİLİZE EDİLMİŞ ve KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN
RULO ÇİM ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

Hüseyin OK

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

TEMMUZ 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**STABİLİZE EDİLMİŞ ve KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN
RULO ÇİM ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

Hüseyin OK

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

TEMMUZ 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**STABİLİZE EDİLMİŞ ve KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN
RULO ÇİM ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

**Hüseyin OK
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**(Bu tez T.C. Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi tarafından FDK – 2017 - 2690 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

TEMMUZ 2020

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

STABİLİZE EDİLMİŞ ve KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN
RULO ÇİM ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Hüseyin OK
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 14/07/2020 tarihinde jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa KAPLAN
Prof. Dr. Şule ORMAN
Prof. Dr. Metin MÜJDECİ
Prof. Dr. Hatice DAĞHAN
Doç. Dr. Songül SEVER MUTLU

ÖZET

STABİLİZE EDİLMİŞ ve KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN RULO ÇİM ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Hüseyin OK

Doktora Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şule ORMAN

Temmuz 2020; 177 sayfa

Çalışmada kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun rulo çim üretiminde tek başına ya da kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte kullanım imkanı ve etkileri araştırılmıştır. Konu değerlendirilirken evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelikte belirtilen, ağır metal sınır değerleri dikkate alınarak uygulamaların toprakta ve bitkide neden olduğu değişimin izlenmesi de amaçlanmıştır. Bu kapsamda 0 (AÇ₀), 2 (AÇ₂), 4 (AÇ₄), 6 (AÇ₆), 8 (AÇ₈) ton da⁻¹ olmak üzere artan dozlarda arıtma çamuru (AÇ) uygulaması yapılan parsellerde kimyasal gübre (KG) uygulaması yapılmadan (KGØ) ve kimyasal gübre uygulaması yapılarak (KG+) hibrit bermuda (*Cynodon dactylon* x *C. transvaalensis*) “Tifway” çimi ve İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) birlikte yetiştirilmiş, rulo çim olarak araziden hasat edilmiştir. Deneme Akdeniz Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Çiftlik arazisinde yüksek pH (7.45) ve kireç (CaCO₃) (%46) içeriğine sahip bir toprakta tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Çalışma kapsamında arazi şartlarında gözlem ve ölçümler yapıldığı gibi ayrıca planlanan zamanlarda alınan toprak ve bitki (üst aksam-kök) örneklerinde de kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar ile uyumlu olarak yetiştirme ortamlarının pH'sında düşüş gözlenirken elektriksel iletkenlik (EC), organik madde, toplam azot, alınabilir fosfor, toplam fosfor, değişebilir potasyum (K), magnezyum (Mg), sodyum (Na) konsantrasyonlarında da önemli artışlar tespit edilmiştir. Özellikle arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının alınabilir demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu) ve çinko (Zn) konsantrasyonlarındaki artış dikkat çekicidir. Toplam Zn konsantrasyonunun arıtma çamuru uygulamaları ile arttığı görülmüştür. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının ağır metal içerikleri üzerinde çok sınırlı da olsa değişime neden olduğu konular vardır. Ancak çalışmada uygulamaların sebep olduğu riskli bir duruma rastlanmamıştır. Diğer yandan yönetmelikte kadmiyum (Cd) sınır değerinde yapılan değişiklikler de göz önünde bulundurarak tekrarlı uygulamalarda (Cd) elementinin konsantrasyonundaki değişimin takip edilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Uygulamalar ile bitki üst aksam azot (N), fosfor (P), potasyum (K) ve magnezyum (Mg) konsantrasyonlarında önemli artışlar gözlenirken Na konsantrasyonundaki değişim daha sınırlı kalmıştır. Kalsiyum (Ca) konsantrasyonunda ise uygulamalar ile birlikte düşüş gözlenmiştir. Bitki üst aksamında tespit edilen bir diğer önemli değişimde Fe, Zn ve Cu elementleri ile ilgilidir. Yetiştirme ortamlarında olduğu gibi bitki üst aksamında da bu üç elementte uygulamalar ile uyumlu artışlar tespit edilmiştir. Ancak artan dozda uygulanan arıtma çamurunun bitki üst aksam Mn içeriğini kontrole göre düşürdüğü tespit edilmiştir. Uygulamaların bitki dokularının ağır metal içeriğine etkisi bazı elementler için istatistiksel olarak önemsiz bulunurken bazı örneklerde de söz konusu elementin konsantrasyonunu

düşürücü etki yaptığı görülmüştür. Uygulamalar ile konsantrasyonunda artış kaydedilen elementlerde ise bu etki çok sınırlı olduğu için ihmal edilebilir düzeyde ve risk oluşturmaktan uzak olarak değerlendirilmiştir.

Araştırma kapsamında elde edilen değerler kullanılarak biyoakümülyasyon faktörü (BAF) ve translokasyon faktörleri (TF) hesaplanmıştır. Hesaplanan BAF içinde bitki üst aksam Zn, Cd ve kök Zn katsayılarında birden büyük değerlere rastlanmıştır. Çinko için bu değer in ihmal edilebilir düzeyde kaldığı görülmektedir. Ancak bitki üst aksam örnekleri için hesaplanan Cd BAF katsayıları içinde birden büyük değer sayısı oldukça fazladır. Bazı Cd BAF değerleri 7'den büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durum rulo çimi meydana getiren çim çeşitlerinden en az birinin Cd için akümülatör bitki olabileceğini göstermiştir. Translokasyon faktörleri incelendiğinde Zn, Mn, Ni ve Cr elementleri için $TF > 1$ olduğu saptanmıştır. Bitkide sıklıkla noksanlığına rastlanan Fe için $TF < 1$ olduğu görülmüştür. Bu durum Fe'in bitki tarafından alınımı kadar kökten üst aksama iletiminde de problem olduğunu düşündürmüştür. Translokasyon faktörü Mn ve Ni için incelendiğinde uygulamalar ile belirgin bir etki gözlenmemekle birlikte ikinci örnekleme döneminde tespit edilen katsayı değerlerinin daha düşük olduğu açıktır.

Çalışmada uygulamaların rulo çim üzerindeki etkilerini daha iyi değerlendirebilmek için bitkinin çıkış hızı, kaplama hızı, parçalanmaya dayanım direnci, yaş ağırlık, kuru ağırlık, boy, renk ve klorofil içeriği gibi veriler de toplanıp değerlendirilmiştir. Arıtma çamurunun tek başına uygulandığı en yüksek doz olan $A\check{C}_8KG\emptyset$ uygulamasında sadece kimyasal gübrenin kullanıldığı $A\check{C}_0KG+$ uygulmasına göre stolon çıkışı 17.75 gün, parselin çim ile kapanma süresi ise 27.5 gün daha erken gerçekleşmiştir. Ayrıca $A\check{C}_8KG\emptyset$ uygulmasının parçalanmaya dayanım direnci $A\check{C}_0KG+$ uygulmasına göre %58 daha yüksek tespit edilmiştir. Araziden biçilerek kaldırılan yeşil ve kuru ot miktarında arıtma çamuru uygulamaları ile önemli artış sağlanmıştır. Benzer şekilde uygulamalar ile daha uzun bitki boyu kaydedilmiş, çim renginde de olumlu değişim tespit edilmiştir. Bitkinin hem rengi üzerinde hem de fotosentezle ilişkili olarak beslenmesi üzerinde önemli etkiye sahip klorofil içeriğinin de uygulamalar ile arttığı belirlenmiştir.

Çalışmada rulo çim üretiminde arıtma çamuru kullanımını destekler nitelikte sonuçlara ulaşılmıştır. Arıtma çamuru uygulamalarının çim gelişimi ve kalitesinde olumlu etkileri tespit edilmiştir. Yapılan gözlemler sağlanan gelişimin rulo çim serildikten sonrada sürdüğünü göstermiştir. Yüksek dozda arıtma çamuru uygulanan parsellerdeki bitkilerin gelişimlerinde bazı dengesizlikler gözlenmiştir. Bu duruma en net örneklerden biri $A\check{C}_6$ ve $A\check{C}_8$ doz arıtma çamuru uygulanmış parsellerde bitki gelişiminin biraz daha hızlı seyretmesidir. Bu durum özellikle ilk dönemlerde arazinin yönetimini zorlaştırmıştır. Bu parsellerdeki bitkilerin daha sık biçime gelmesinden dolayı işçilik ve bakım maliyetleri artmıştır. Ayrıca materyalin gereğinden fazla kullanımı uzun vadede nitrat ve ağır metal kirliliğine de sebep olma riski vardır. Materyali daha etkili ve güvenli kullanabilmek için arıtma çamurunu iki parça halinde vermenin daha faydalı olabileceği düşünülmüştür. Tavsiye edilen uygulama, alanın tesis aşamasında 4 ton da^{-1} arıtma çamuru uygulanması, ilk rulo çim kesiminden sonra da araziye 2 ton da^{-1} arıtma çamuru daha uygulanması şeklinde olabilir. Ayrıca çalışmada kimyasal gübre uygulamalarının $A\check{C}_0$ ve $A\check{C}_2$ dozu arıtma çamuru konularında bir miktar olumlu etki gösterdiği ancak artan arıtma çamuru dozları ile kimyasal gübre uygulamalarının etkisinin giderek önemsizleştiği görülmüştür. Bu durum rulo çim üretiminde arıtma çamuru uygulamaları ile birlikte arazideki potasyum, kalsiyum ve mangan gibi potansiyel noksanlık belirtilerinin takip edilip ihtiyaç hasıl olması halinde bu elementlerin gübrenlenmesinin yaprakdan yapılmasının daha faydalı olabileceğini düşündürmüştür.

ANAHTAR KELİMELEER: Arıtma amuru, Ağır metaller, Rulo im üretimi, Toprak verimliliğı, Sıfır atık.

JÜRİ: Prof. Dr. Mustafa KAPLAN

Prof. Dr. Şule ORMAN

Prof. Dr. Metin MÜJDECİ

Prof. Dr. Hatice DAĞHAN

Do. Dr. Songöl SEVER MUTLU



ABSTRACT

USE OF STABILIZED AND DRIED SEWAGE SLUDGE IN ROLL-ON GRASS PRODUCTION

Hüseyin OK

PhD Thesis in Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Şule ORMAN

July 2020; 177 pages

In the study, the possibilities and effects of dried and stabilized sewage sludge alone or together with chemical fertilizer applications were investigated. While evaluating the subject, it is also aimed to monitor the changes caused by the applications in the soil and plants by considering the heavy metal limit values specified in the regulation on the use of domestic and urban sewage sludge in the soil. In this context, hybrid bermuda grass (*Cynodon dactylon* x *C. transvaalensis*) "Tifway" and lolium grass (*Lolium perenne* L.) were grown together and harvested from the field as roll-on grass by performing chemical fertilizer application (KG+) and not performing chemical fertilizer (KG) application (KGØ) in the parcels where sewage sludge (AÇ) application is performed in increasing doses of 0 (AÇ₀), 2 (AÇ₂), 4 (AÇ₄), 6 (AÇ₆), 8 (AÇ₈) ton da⁻¹. The experiment was carried out in a soil with high pH (7.45) and lime (CaCO₃) (46%) content on Akdeniz University Research and Application Farm land in 4 repetitions according to the randomized parcels experimental design.

Within the scope of the study, observations and measurements were made in the field conditions, and also chemical analyzes were carried out on soil and plant (upper part-root) samples taken at the scheduled times. While a decrease in pH of the growing environments was observed in line with the applications, significant increases in electrical conductivity (EC), organic matter, total nitrogen, available phosphorus, total phosphorus, exchangeable potassium (K), magnesium (Mg), and sodium (Na) concentrations were also detected. The increase in the concentrations of available iron (Fe), manganese (Mn), copper (Cu) and zinc (Zn) in the growing environments, especially with sewage sludge applications, is remarkable. It was observed that the total Zn concentration increased with sewage sludge applications. There are issues where applications cause change, albeit very limited, on heavy metal contents of growing environments. However, no risky situation caused by applications was found in the study. On the other hand, considering the changes in cadmium (Cd) limit value in the regulation, it is thought that it will be useful to follow the change in the concentration of cadmium (Cd) element in repetitive applications.

With the applications, while significant increases in nitrogen (N), potassium (K) and magnesium (M) concentrations of the plant upper parts were observed, change in Na concentration stayed more limited. A decrease was observed in calcium (Ca) concentration along with the applications. Another important change detected in the plant upper parts is related to the elements of Fe, Zn and Cu. As in growing environments, compatible increases with the applications in these three elements were detected in the upper part of the plant as well. However, it was determined that the sewage sludge applied in increasing doses decreased the Mn content of the plant upper parts compared to the control. While the effects of applications on the heavy metal content of plant tissues were found to be statistically insignificant for some elements, it was observed in some samples that they had a reducing effect on the concentration of the element in question. This effect was evaluated as far from creating risks and at negligible level since it was very limited in these elements in which an increase was recorded in their concentration along with the applications.

Bioaccumulation factor (BAF) and translocation factors (TF) were calculated using the values obtained in the research. Within the calculated BAF, values greater than one were encountered in the plant upper part Zn, Cd and root Zn coefficients. For zinc, this value appears to remain at negligible level. However, values greater than one are quite a few within Cd BAF coefficients calculated for the plant upper parts. Some Cd BAF values were determined to be greater than 7. This has showed that at least one of the grass types that generate roll-on grass can be an accumulator plant for Cd. When the translocation factors were examined, it was determined that $TF > 1$ was for Zn, Mn, Ni and Cr elements. TF was found to be < 1 for Fe, whose deficiency is frequently seen in the plant. This situation suggested that there was a problem in the transmission of Fe from the root to the upper parts as well as the uptake of Fe by the plant. When the translocation factor is analyzed for Mn and Ni, it is clear that the coefficient values determined in the second sampling period are lower, although no significant effect is observed along with the applications.

In the study, in order to better evaluate the effects of the applications on roll grass, the data such as growth velocity of the plant, coating velocity, decomposition tolerance resistance, wet weight, dry weight, height, color and chlorophyll content were also collected and evaluated. In $AC_8KG\emptyset$ application, which is the highest dose of sewage sludge applied alone, stolon growth was 17.75 days and the closure time of the parcel with grass was 27.5 days earlier than AC_0KG+ application, where only chemical fertilizer was used. In addition, the tolerance resistance of the $AC_8KG\emptyset$ application to decomposition was detected to be 58% higher than the AC_0KG+ application. Significant increase has been achieved in the amount of green and dry grass removed by harvesting from the land with sewage sludge applications. With the similar applications, longer plant height was recorded and a positive change in the color of the grass was detected. It has been determined that chlorophyll content, which has a significant effect on both the color of the plant and its nutrition in relation to photosynthesis, has also increased with applications.

In the study, results supporting the use of sewage sludge in the production of roll-on grass were obtained. Positive effects of sewage sludge applications on grass development and quality were determined. Observations showed that the improvement provided continued after laying roll-on grass. Some imbalances were observed in the development of the plants in parcels to which high doses of sewage sludge were applied. One of the clearest examples of this situation is the fact that the plant development progresses a little faster in the parcels applied with AC_6 and AC_8 dose sewage sludge. This situation made it difficult to manage the land especially in the early periods. Due to the fact that the plants in these parcels formed more frequently, labor and maintenance costs increased. Moreover, excessive use of the material has the risk of causing nitrate and heavy metal contamination in the long term. In order to use the material more effectively and safely, it was thought that it would be more beneficial to give the sewage sludge in two parts. The recommended application may be to apply 4 ton da^{-1} sewage sludge at the installation stage of the area, and 2 ton da^{-1} sewage sludge to the land after the first roll-on grass cutting. Also, in the study, it was observed that chemical fertilizer applications had some positive effects on AC_0 and AC_2 dose sewage sludge issues, but the effect of increasing sewage sludge doses and chemical fertilizer applications gradually became less important. This situation has suggested that it may be more beneficial to follow the potential deficiency symptoms in the land such as potassium, calcium and manganese along with the sewage sludge applications and fertilize these elements from the leaves if needed.

KEYWORDS: Sewage sludge, Heavy metals, Roll-on lawn production, Soil fertility, Zero waste

COMMITTEE: Prof. Dr. Mustafa KAPLAN

Prof. Dr. Şule ORMAN

Prof. Dr. Metin MÜJDECİ

Prof. Dr. Hatice DAĞHAN

Assoc. Prof. Dr. Songül SEVER MUTLU



ÖNSÖZ

Gelişen teknoloji ve tarımda makinelerin yaygın kullanımıyla insanlık tarım toplumundan sanayi toplumuna evrilmiş, böylece kırsalda dağınık yaşayan nüfus kentsel alanlarda yoğunlaşmıştır. Şehir nüfuslarının milyonlarla ifade edilir hale gelmesi organik ve inorganik atıkları her zamankinden daha büyük bir sorun haline getirmiştir. Önceleri uzak depolama alanlarında görmezden gelmeye çalıştığımız atıklarımız sebep olduğu çevre sorunları ile medeni yaşamı tehdit etmeye başlamıştır. Bu durum atıkların geri dönüşümü ve geri kazanımı üzerine insanları daha çok düşünmeye ve çalışmaya teşvik etmiştir. Günümüzde “Sıfır atık” olarak özetlenen düşünce atık sorununa çevreci ve ekonomik bir çözüm imkanı sunduğu için tüm dünyada benimsenmiştir. Ana fikri her bir atığı bir başka sürecin girdisi yaparak geri kazanmak olan “Sıfır atık” prensibi, temiz ve sürdürülebilir bir yaşam için gereklidir.

Atık sorununun en önemli konularından biri de evsel ve endüstriyel atık sulardır. Bu suların hiçbir işleme tabi tutulmadan denizlere, göllere ya da yeraltı sularına deşarj edilmesi çevre ve insan sağlığı için ciddi bir tehdittir. Bu tehdidin giderilmesi için atık su arıtma tesisleri, şehirlere ve sanayi tesislerine hizmet vermektedir. Bu sayede atık sular alıcı ortamlara deşarj edilebilir seviyede temizlenerek ekosistem korunmaya çalışılmaktadır. Atık su arıtımında fiziksel ve kimyasal arıtma süreçleri ile katı atıklar sudan ayrılmakta katı atık işleme tesislerine gönderilmektedir. Takip eden biyolojik arıtma safhasında kullanılan mikroorganizmalarda sürecin sonunda sistemden yüzdürülerek veya çökeltilerek ayrılmaktadır. Ayrılan bu materyalin susuzlaştırılması ile arıtma çamuru olarak adlandırılan nihai atık ortaya çıkmaktadır. Arıtma çamuru sahip olduğu özellikler ile başlangıçtaki atıktan ciddi farklılık göstermektedir. İçerdiği bitki besin elementi ve organik madde (%70'e varan) ile tarımda toprak ıslah materyali olarak geri kazanım imkânı bulabileceği uzun yıllardır bilinmektedir. Tarımda organik madde ihtiyacının artması ile sıfır atık prensibine uygun olarak bu atıkların geri kazanımı daha da önem kazanmıştır. Ancak arıtma çamurunun tarımda kullanımını sınırlayan bazı dezavantajları vardır. Bu durum materyalin olumsuz özelliklerinin kantitatif verilerle ortaya konulmasını ve kullanım imkanlarının güvenli bir şekilde belirlenmesi gerektirmektedir. Arıtma çamurunun tarımda güvenli kullanılabilmesi için konu ile ilgili bilimsel çalışmaların sürdürülmesi önemlidir.

Kentlerde yaşayan toplumun ekonomik ve kültürel gelişmesiyle birlikte, yeşil alanlara verilen önem artmış, bu gibi alanların tesisi lüks olmaktan çıkmıştır. Şehirlerin yaşanabilirliğini bilim insanları artık kişi başına düşen yeşil alan üzerinden değerlendirmektedir. Kentler için yeşil alanların korunması ve arttırılması öncelikli hedefler arasında olmalıdır. Şehirlerde artan yeşil alanlar ile birlikte kent halkının yaşam kalitesi artmakta, altyapı iyileşmekte, istihdam sağlanmakta, turizm desteklenmekte ve en önemlisi uluslararası tanınırlık artmaktadır (Örn: Expo 2016 Antalya).

Günümüzde yeşil alan tesisinde, biyolojik ya da teknik sebeplerden ötürü tohumdan çim ekiminin fizibil olmadığı şartlarda rulo çim tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknik özellikle çimlenme sorununun olduğu hallerde ve çim tesisinin çok kısa sürede yapılmasının gerekli olduğu durumlarda etkili çözüm sunmaktadır. Gerçekleştirilen bu projede; evsel kaynaklı, kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun rulo çim üretiminde organik toprak ıslah materyali olarak kullanım imkânları araştırılmaktadır. Bitkisel üretimde arıtma çamuru kullanımının

doğurabileceği olası riskleri minimuma indirmek için canlılar tarafından tüketilmeyen bir bitki olan çim tercih edilmiştir. Çalışma planlanırken materyalin rulo çim üretiminde kullanılması sağladığı ek avantajlar da göz önünde bulundurulmuştur. Materyalin kullanımı ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede çim üretiminde kimyasal girdi kullanımını azalacak ve önemli bir atığa kullanım alanı tavsiye ederek soruna çevreci bir çözüm bulunmasına katkı sağlanacaktır.

Lisansüstü eğitimim boyunca benden sevgi ve emeğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yoğun şekilde yararlandığım fikirleri ile yolumu aydınlatan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Şule ORMAN'a (Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi) en içten teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Yüksek lisans ve doktora eğitimimde bana emek veren, kıymetli zamanlarını bana ayırma lütfunu gösteren çok değerli hocalarım Prof. Dr. Mustafa KAPLAN ve Doç. Dr. Songül SEVER MUTLU'ya (Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi) en kalbi şükranlarımı sunarım. Sağladıkları samimi ve huzurlu ortamda benim gibi nice öğrenciye öğrenim görme fırsatı sağlayan, bilgi ve tecrübelerini bizlerden esirgemeyen Akdeniz Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünün saygı değer öğretim üyelerine gönülden teşekkür ederim. Çalışmalarımın her aşamasında kıymetli destekleri ile yanımda olan, bir dönem aynı mesaiyi paylaştığım değerli dostlarım Zir. Yük. Müh. Aylin ZAMBAK ÖZGÜR (Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi), Dr. Öğr. Gör. İsmail Emrah TAVALI (Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Gazipaşa Mustafa Rahmi Büyükballi Meslek Yüksekokulu) ve Öğr. Gör. Ahmet Şafak MALTAŞ'a (Akdeniz Üniversitesi Finike Meslek Yüksek Okulu) teşekkürü borç bilirim. Denemenin yürütülmesi ve analizlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen vefakâr arkadaşlarım Zir. Yük. Müh. Kadir BUYURGAN ve Zir. Yük. Müh. Ozan ŞİMŞEK'e teşekkürlerimi sunarım. Tatil günlerini bu tezin tamamlanmasına vakfeden yüce gönüllü dostum Zir. Yük. Müh. Selahattin Bora YALIN'a teşekkür ederim. Ayrıca sağladıkları samimi ve huzurlu ortamda bana da yer açan Akdeniz Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü ailesinin bütün bireylerine ayrı ayrı şükranlarımı sunarım.

Hayatın her evresinde olduğu gibi doktora tezimin vücut bulma aşamasında da yardım ve desteklerini benden esirgemeyen sevgili hayat arkadaşım Zeynep Begüm OK'a ve bu süreçte dünyaya gelerek motivasyonumu arttıran canım kızım Umay Gökçe OK'a kalpten sevgilerimi sunarım. Beni büyük emek ve sabrın neticesinde bugünlere getiren, her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman haklarını ödeyemeyeceğim sevgili annem ve babam Sevgi ve Servet OK'a sonsuz minnetlerimi sunarım. Üstümde çok emekleri olan anneannem Gülşen ULUSOY'a, bu süreçte kaybettiğim babaannem Müzeyyen OK'a ve benden yardım ve desteklerini esirgemeyen bilgi ve görüşlerinden istifade ettiğim, düşüncelerinden ilham aldığım amcam Selçuk Tayfun OK'a sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	vii
AKADEMİK BEYAN	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	6
2.1. Atık Sorunu	6
2.2. Arıtma Çamuru ve Stabilizasyon	6
2.3. Türkiye’de ve Dünyada Arıtma Çamuru Sorunu	8
2.4. Arıtma Çamurlarının Özellikleri ve Bertarafı	9
2.5. Arıtma Çamurlarının Toprağa Uygulanarak Bertarafı	11
2.6. Toprağa Arıtma Çamuru Uygulamanın Avantajları.....	12
2.7. Toprağa Arıtma Çamuru Uygulamanın Riskleri.....	14
2.8. Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanımı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	17
2.9. Arıtma Çamurunun Çim Yetiştiriciliğinde Kullanım Olanğı	22
3. MATERYAL VE METOD	26
3.1. Materyal.....	26
3.1.1. Denemenin kurulduğı alanın iklim özellikleri.....	26
3.1.2. Denemenin kurulduğı alan ve toprak özellikleri.....	26
3.1.3. Arıtma çamuru	30
3.1.4. Kum	31
3.1.5. Kimyasal gübreler.....	31
3.1.6. Bitki materyalleri	32
3.1.6.1 Bermuda çimi.....	32
3.1.6.2. İngiliz çimi (<i>Lolium perenne</i>)	33
3.2. Metod.....	33
3.2.1. Deneme arazisinin ön hazırlığının yapılması	33
3.2.2. Denemenin kurulması.....	35

3.2.3. Deneme konuları.....	37
3.2.4. Bitkisel üretim	37
3.2.5. Örnekleme zamanları ve örnek sayısı.....	40
3.2.6. Kesilen rulo çimlerin serildiği ortamdaki adaptasyonlarının incelenmesi ..	42
3.2.7. Çalışmada belirlenen parametreler ve yöntemleri	42
3.2.7.1. Deneme alanında belirlenen parametreler ve yöntemleri	42
3.2.7.2. Laboratuvarında belirlenen parametreler ve yöntemleri	43
3.2.7.2.1. Başlangıç deneme toprağında gerçekleştirilen analizler	44
3.2.7.2.2. Yetiştirme ortamlarından alınan toprak örneklerinde yapılan analizler	44
3.2.7.2.3. Arıtma çamurunda yapılan analizler	44
3.2.7.2.4. Bitki analizleri.....	45
3.2.7.3. Analiz sonuçlarına göre yapılacak hesaplamalar	45
3.2.8. İstatistiksel analizler	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
4.1. Yetiştirme Ortamlarının pH, EC, Organik Madde Kapsamları ve Değerlendirilmesi	47
4.1.1. Yetiştirme ortamlarının pH'sı ve değerlendirilmesi	47
4.1.2. Yetiştirme ortamlarının EC değerleri ve değerlendirilmesi.....	48
4.1.3. Yetiştirme ortamlarının toplam organik madde içeriği ve değerlendirilmesi	50
4.2. Yetiştirme Ortamlarında Bitkiye Yararışlı ve Toplam Makro Element Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi	52
4.2.1. Yetiştirme ortamlarının toplam azot konsantrasyonu ve değerlendirilmesi	52
4.2.2. Yetiştirme ortamlarının alınabilir ve toplam fosfor konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	53
4.2.3. Yetiştirme ortamlarının değişebilir ve toplam potasyum, magnezyum, kalsiyum, sodyum konsantrasyonları ve değerlendirilmesi.....	57
4.3. Yetiştirme Ortamlarının Alınabilir ve Toplam Mikro Element Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi	69
4.4. Yetiştirme Ortamlarında DTPA-Ekstrakte Edilebilir ve Toplam Ağır Metal Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi	82

4.5. Çimde Belirlenen Bitkisel Parametreler	93
4.5.1. Çimin çıkış hızı, kaplama hızı ve parçalanmaya dayanım parametreleri ve değerlendirilmesi	93
4.5.2. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde yaş ağırlık, kuru ağırlık, bitki boyu, renk, klorofil parametreleri ve değerlendirilmesi	96
4.5.3. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde makro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	104
4.5.3.1. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde azot konsantrasyonları ve değerlendirilmesi.....	104
4.5.3.2. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde fosfor konsantrasyonları ve değerlendirilmesi.....	106
4.5.3.3. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	108
4.5.4. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde mikro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	113
4.5.4.1. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde demir, çinko, mangan, bakır konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	113
4.5.5. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	119
4.5.5.1. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde kurşun, kadminyum, krom ve nikel konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	119
4.5.6. Çim bitkisi kök örneklerinde makro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	125
4.5.6.1. Çim bitkisi kök örneklerinde azot konsantrasyonları ve değerlendirilmesi.....	125
4.5.6.2. Çim bitkisi kök örneklerinde fosfor konsantrasyonları ve değerlendirilmesi.....	125
4.5.6.3. Çim bitkisi kök örneklerinde potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum konsantrasyonları ve değerlendirilmesi.....	127
4.5.7. Çim bitkisi kök örneklerinde mikro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	130

4.5.7.1. Çim bitkisi kök örneklerinde demir, çinko, mangan, bakır konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	130
4.5.8. Çim bitkisi kök örneklerinde ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	134
4.5.8.1. Çim bitkisi kök örneklerinde kurşun, kadmium, krom ve nikel konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	134
4.5.9. Çalışma kapsamında hesaplanan mikro element ve ağır metal biyoakümülyasyon faktörleri	138
4.5.10. Çalışma kapsamında hesaplanan mikro element ve ağır metal translokasyon faktörleri	141
4.6. Adaptasyon Parsellerinde Yapılan Gözlemler	142
5. SONUÇLAR	143
6. KAYNAKLAR	151
7. EKLER	177
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Stabilize Edilmiş ve Kurutulmuş Arıtma Çamurunun Rulo Çim Üretiminde Kullanımı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

14/07/2020

Hüseyin OK



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetrekare
dS m ⁻¹	: Desisimens/metre
g	: Gram
kg	: Kilogram
mg kg ⁻¹	: Miligram/kilogram
t da ⁻¹	: Ton/dekar

Not: Tez metninde ondalık yazım olarak nokta (.) kullanımı tercih edilmiştir.

Kısaltmalar

AÇ	: Arıtma Çamuru
BAF	: Biyoakümülyasyon Faktörü
Ca	: Kalsiyum
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
CRM	: Sertifikalanmış Materyal
Cu	: Bakır
da	: Dekar
DİE	: Devlet İstatistik Kurumu
dS	: Desi simens

DTPA	: Dietilentriaminpentaasetikasit
EC	: Elektriksel İletkenlik
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
Fe	: Demir
g	: Gram
Hg	: Civa
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi
K	: Potasyum
kg	: Kilogram
KG+	: Kimyasal gübre uygulaması yapılmış
KGØ	: Kimyasal gübre uygulaması yapılmamış
m ²	: Metrekare
Mg	: Magnezyum
mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
N	: Azot:
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
pH	: Hidrojen iyonu konsantrasyonu eksi logaritması
TF	: Transfer Faktörü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
Zn	: Çinko

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Şehrimizde rulo çim kullanımına bir örnek	4
Şekil 1.2. Ziyaret edilen rulo çim üretim sahası	5
Şekil 3.1. Çalışmanın yürütüldüğü alanın uydu görüntüsü (GoogleEarth 2018).....	27
Şekil 3.2. Arıtma çamurunun temin edildiği Antalya Hurma Atık Su Arıtma Tesisi.....	29
Şekil 3.3. Arıtma çamurunun araziye indirilişi.....	30
Şekil 3.4. Arıtma çamurunun genel görünüşü	30
Şekil 3.5. Bitki materyalleri. a) Bermuda çimi b) Lolium çimi	31
Şekil 3.6. Deneme arazisinin çalışma öncesi genel görünümü.....	33
Şekil 3.7. Deneme arazisinin tekrarlayan yabancı ot sorunu	33
Şekil 3.8. Deneme alanında herbist uygulaması ile yabancı ot mücadelesi	34
Şekil 3.9. Deneme alanında parsellerin oluşturulması	35
Şekil 3.10 Tırmık çekilerek yüzey taşlarının parsellerden uzaklaştırılması	35
Şekil 3.11. Tartılıp parsellere dağıtılan arıtma çamuru uygulamaları	35
Şekil 3.12. Parsellerin inkübasyon süreci	36
Şekil 3.13. Parsellere bermuda çimi stolonlarının dikimi.....	37
Şekil 3.14. İnkübasyon sonrası parsellerde çim tesisi	37
Şekil 3.15. Kullanılan ekipmanlar. a) Çim biçme makinesi b) Vertikat makinesi	38
Şekil 3.16. Rulo çimler araziden kesilirken	38
Şekil 3.17. Analize hazırlanan toprak örnekleri	39
Şekil 3.18. Analize hazırlanan bitki örnekleri. a) Yaprak örnekleri b) Kök örnekleri ...	40
Şekil 3.19. Rulo çimlerin kopmaya karşı dayanımları test edilirken	40
Şekil 3.20. Kesilen rulo çimlerin serildiği ortamdaki adaptasyonlarının incelenmesi ...	41
Şekil 3.21. Parçalanmaya dayanım test ekipmanı.....	42
Şekil 4.1. Adaptasyon parselleri.	142

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Antalya ilinin 1997-2018 yıllarına ait bazı meteorolojik verileri.....	23
Çizelge 3.2. Deneme toprağı, arıtma çamuru ve sertifikalandırılmış materyallerin analiz sonuçları.....	25
Çizelge 4.1. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının pH'ı üzerine etkisi	43
Çizelge 4.2. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının EC'si (dS m^{-1}) üzerine etkisi	45
Çizelge 4.3. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının organik madde (%) içeriğı üzerine etkisi	46
Çizelge 4.4. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının azot (%) konsantrasyonları üzerine etkisi	48
Çizelge 4.5. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir fosfor (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi.....	50
Çizelge 4.6. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam fosfor (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi.....	51
Çizelge 4.7. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının değışebilir potasyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi.....	53
Çizelge 4.8. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam potasyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	55
Çizelge 4.9. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının değışebilir kalsiyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	56
Çizelge 4.10. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam kalsiyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	58
Çizelge 4.11. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının değışebilir magnezyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	59
Çizelge 4.12. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam magnezyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	61
Çizelge 4.13. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının değışebilir sodyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	62
Çizelge 4.14. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam sodyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	63
Çizelge 4.15. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir demir (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	65

Çizelge 4.16. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam demir (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	67
Çizelge 4.17. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir çinko (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	68
Çizelge 4.18. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam çinko (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi.....	70
Çizelge 4.19. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir mangan (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	71
Çizelge 4.20. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam mangan (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	73
Çizelge 4.21. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir bakır (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	74
Çizelge 4.22. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam bakır (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	76
Çizelge 4.23. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	77
Çizelge 4.24. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam kurşun (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	78
Çizelge 4.25. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kadmiyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	80
Çizelge 4.26. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam kadmiyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	81
Çizelge 4.27. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir krom (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	82
Çizelge 4.28. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam krom (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	83
Çizelge 4.29. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir nikel (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi.....	84
Çizelge 4.30. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam nikel (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi	85
Çizelge 4.31. Uygulamaların çimin çıkış hızı (gün), kaplama hızı (gün) ve parçalanmaya dayanımı (gr) üzerine etkisi	87
Çizelge 4.32. Uygulamaların çimin yaş ağırlığı (gr) üzerine etkisi	89

Çizelge 4.33. Uygulamaların çimin kuru ağırlığı (gr) üzerine etkisi	90
Çizelge 4.34. Uygulamaların çimin bitki boyu (cm) üzerine etkisi	91
Çizelge 4.35. Uygulamaların çim rengi (1-9 skalası) üzerine etkisi	93
Çizelge 4.36. Uygulamaların klorofil düzeyi (Minolta spad-502 plus) üzerine etkisi....	94
Çizelge 4.37. Uygulamaların toplam klorofil analizi (mg g ⁻¹) üzerine etkisi	95
Çizelge 4.38. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde azot (%) konsantrasyonları üzerine etkisi	96
Çizelge 4.39. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde fosfor (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi.....	99
Çizelge 4.40. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde potasyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	100
Çizelge 4.41. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde kalsiyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi.....	102
Çizelge 4.42. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde magnezyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	103
Çizelge 4.43. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde sodyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	104
Çizelge 4.44. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde demir (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	105
Çizelge 4.45. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde çinko (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	107
Çizelge 4.46. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde mangan (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	108
Çizelge 4.47. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde bakır (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	109
Çizelge 4.48. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde kurşun (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	111
Çizelge 4.49. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde kadmiyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	112
Çizelge 4.50. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde krom (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	113
Çizelge 4.51. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde nikel (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	115

Çizelge 4.52. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde azot (%) konsantrasyonları üzerine etkisi	116
Çizelge 4.53. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde fosfor (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	117
Çizelge 4.54. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde potasyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	118
Çizelge 4.55. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde kalsiyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	119
Çizelge 4.56. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde magnezyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	120
Çizelge 4.57. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde sodyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	120
Çizelge 4.58. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde demir (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	122
Çizelge 4.59. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde çinko (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	122
Çizelge 4.60. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde mangan (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	124
Çizelge 4.61. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde bakır (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	124
Çizelge 4.62. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde kurşun (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	126
Çizelge 4.63. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde kadmiyum (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	127
Çizelge 4.64. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde krom (mg kg ⁻¹) üzerine etkisi	127
Çizelge 4.65. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde nikel (mg kg ⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi	128
Çizelge 4.66. Çim üst aksamı için hesaplanan mikro element ve ağır metal biyoakümülyasyon değerleri	129
Çizelge 4.67. Çim kök aksamı için hesaplanan mikro element ve ağır metal biyoakümülyasyon değerleri	131
Çizelge 4.68. Mikro element ve ağır metal translokasyon faktörleri	131

1. GİRİŞ

İnsanın olduğu her yerde karşımıza çıkan, varlığından mutluluk duyduğumuz çim alanlar günümüzde yaşamın bir parçası haline gelmiştir. İlk çıkışı orta çağ sonlarına kadar giden çim alanlar başlarda Avrupa aristokrat sınıfının şatolarında yer bulmuştur. Hiçbir ekonomik değeri olmayan ve bakımları ciddi emek ve para isteyen bu alanlar bir güç ve asalet gösterisi olarak sahiplerini onurlandırmakta, büyüklüğü ve yeşilliği ölçüsünde prestij sağlamaktaydı. Sanayi devriminin gerçekleşmesi ile üretim imkanlarının artması, toplum refahında sağladığı iyileşme ve çim bakım ekipmanlarındaki gelişme sonucunda seçkin sınıfın bu özel zevki tüm kamuya mal oldu ve toplumda geniş yer buldu. En önemli spor müsabakalarının çim alanlarda yapılması çim alanlara olan ihtiyacı artırdı. Kuşkusuz bir diğer faktör de biraz önce bahsettiğimiz sanayi devrimi sonrası nüfusun büyük şehirlerde çok dar bir alanda yoğunlaşmasının insan fizyolojisine ve psikolojisine etkileri oldu. Yüksek katlı binalarda doğadan izole şekilde çalışma odaklı bir yaşamın insan üzerindeki olumsuz etkileri fark edildi. Şehirleşmenin insan üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için yaşadığımız çevre insan doğası göz önünde bulundurularak yeniden tasarlandı. Böylece rekreasyon alanları ve bu alanların vazgeçilmezi çim sahalar insanlık için lüks olmaktan çıkıp ihtiyaç halini aldı. Bugün modern dünyanın şehirlerdeki yaşam kalitesini belirlerken ilk baktığı parametrelerden biri yeşil alan yüzdeleridir. Oslo şehri % 68'e varan yeşil alanı ile gururlanmaktadır. Bu sebeple Katar gibi doğal imkânların çim saha tesisi için çokta uygun olmadığı ülkelerde bile insanlar tek parça yüz bin metre kare çim alan tesis edecek motivasyonu kendilerinde bulmaktadırlar.

Çim bitkileri endüstrisi, ABD'de mısırdan sonra en çok gelir getiren bitki gurubu olmakla birlikte bu ülkede mısır ve buğdaydan sonra en yaygın ekilen bitki grubudur. Dünya genelinde çime olan talebin artıp yaygınlaşması çim tesisinde de birçok yeniliği beraberinde getirmiştir. Bilim insanlarının genetik çalışmaları ile dünyanın her yerine adapte olabilen çim çeşitleri geliştirilirken diğer yandan çim alan kurulumunda geleneksel yöntemlere alternatif rulo çim, hidroseeding gibi yeni teknikler kullanılarak uygulama avantajları yaratılmaya çalışılmaktadır. Bu bağlamda önemli miktarda kimyasal gübre çim alanların tesisi ve bakım işlerinde kullanılmaktadır. Sağlıklı bir çim alan tesis etmek için alanın hazırlık sürecinde ve sonrasında rutin bakımlarında bitkinin ihtiyaç duyduğu besin elementlerini bitkiye verilmesi gerekir. Kimyasal ve organik gübreler birlikte uygulanarak bitkinin ihtiyaç duyduğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik şartlar optimum düzeyde sağlanmak durumundadır.

Yapılan birçok bilimsel çalışmada çim yetiştiriciliğinde doğru organik gübrelemenin çok yönlü avantaj sağladığı bildirilmiştir (Garling ve Boehm 2001; Roudsari ve Pishdar 2007). Kullanılan organik gübrenin kaynağı ağırlıklı olarak çiftlik gübresidir. Ancak mevcut talebi sadece bu kaynaklar ile karşılamanın ekonomik olmadığı anlaşıncı alternatif kaynaklardan organik madde temin imkânlarının araştırılması hız kazanmıştır. Bu noktada organik atıklardan elde edilen organik maddenin tarımsal üretimde kullanılması ile hem ucuz girdi sağlamanın hem de şehirleşmenin bir sonucu olarak her zamankinden daha büyük bir sorun haline gelen atık sorununa sürdürülebilir ve ekonomik bir çözüm imkânı sunmanın mümkün olduğu fark edilmiştir. Bu düşüncenin son yıllarda sıkça duyduğumuz ve sağlıklı bir gelecek vaat eden "Sıfır Atık" hareketi ile de uyumlu olduğu açıktır. "Sıfır Atık" sloganı ile özetlenen bu kavram beşeri faaliyetler sonucu ortaya çıkan her bir atığın bir başka

faaliyetin girdisi olarak geri kazanmayı amaçlamaktadır. Bu sayede ortaya çıkacak nihai atığın mümkün olan en küçük seviyede tutulması ve kaynakların etkili kullanılması hedeflenmektedir. “Sıfır Atık” hareketinin insanlığa ve ekosistemimize vaat ettiği katkının gerçekleşebilmesi için bireylerin ve atık üreten işletmelerin “Sıfır Atık” fikrini benimsemesi ve gereğini yerine getirmesi gerekmektedir.

Atık suların geri kazanılması atık yönetiminde kritik bir konudur. Kırsaldan şehirlere göçün artması, gelişen sanayi üretimi evsel ve endüstriyel atık su miktarında önemli artışa neden olmuştur. Ülkemizdeki belediyelerde kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen toplam atık su miktarı 2004 yılında 2.92 milyar m³ iken, bu değer 2014 yılında yaklaşık 4.80 milyar m³'e ulaşmış ve bu atık suların 2004 yılında 1.90 milyar m³'ünün (% 65'inin), 2018 yılı itibarıyla ise 4.3 milyar m³'ünün (%88.3'ünün) arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra deşarj edildiği belirtilmektedir. İller bazında incelendiğine ise Antalya belediyelerinin kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen toplam atık su miktarının 2004 yılı itibarıyla 149 milyon m³ iken 2018 yılı itibarıyla 213 milyon m³ olduğu; 2004 yılında 149 milyon m³ atık suyun 62 milyon m³'ü arıtılabilirken; 2018 yılı itibarıyla 213 milyon m³ atık suyun tamamının arıtılarak alıcı ortamlara deşarj edildiği bildirilmektedir (TÜİK 2020).

İçerdikleri çeşitli kimyasal ve patojenler nedeniyle son derece tehlikeli olan bu atıkların çevreye herhangi bir filtreleme işleminden geçirilmeden bırakılması halinde çok önemli çevre ve sağlık sorunlarına yol açması kaçınılmazdır. Atık suların deşarj edildiği alıcı ortamlarda biyolojik çeşitliliğin sürmesi ve ekosistemin korunması için arıtma tesisleri şehirlerimizin vazgeçilmezleri haline gelmiştir. Dünyanın gelişmiş ülkelerinde olduğu gibi yurdumuzda da kanalizasyon sularının çevreye arıtılmadan gelişi güzel deşarj edilmesi, yasa ve yönetmelikler gereği yasaktır. Ülkemizde son yıllarda çevre politikalarındaki düzenlemeler ve halkın bu yönde haklı taleplerine paralel olarak belediyeler kanalizasyon altyapılarına ciddi yatırımlar yapmıştır. TÜİK verilerine göre 1994 yılında belediye şebekesinden deşarj edilen toplam atık suyun ancak %10'u atık su arıtma tesislerinde arıtılırken bu değer 2018 yılında %90'lar seviyesine ulaşmıştır. Tüm bu verilere paralel olarak dünyada ve ülkemizde atık su arıtma tesislerinin sayıları her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde atık su arıtma tesisi ile hizmet veren belediye sayısı 2004 yılında 319 iken 2018 yılında 644'e ulaşmıştır (TÜİK 2020). Atık suyu çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerden geçirerek geri kazanan bu tesislerde atık suyun arıtılması ile sıvı kısım alıcı ortamlara güvenle deşarj edilebilmektedir. Ancak bu işlem sonrasında arıtma çamuru olarak adlandırılan katı kısım konsantre atık olarak tesislerde birikmektedir. İçerdikleri bazı olumsuzluklar nedeniyle zararları olduğu düşünülen bu atıkların 1970'lerden itibaren dünyada ve 2005 yılında da Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nin yürürlüğe girmesi ile ülkemizde doğaya bırakılması ya da değerlendirilmesi ile ilgili sınırlayıcı tedbirler alınmıştır. Mevcut durumda arıtma çamurunun bertarafı atık su idaresi maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Huang vd. 2008).

Türkiye genelinde günlük üretilen arıtma çamuru miktarı kuru madde olarak ortalama 1000 ton civarında olup bertarafında sorunlar yaşanmaktadır. Arıtma çamurundan biyogaz üretilerek geri kazanım sağlandığı gibi ek yakıt olarak çimento fabrikalarında da yakılmaktadır. Ayrıca belediyeler tarafından bedeli ödenerek bu materyalin özel şirketlere ait alanlarda depolanması ya da toprağa gömülmesi diğer bertaraf yöntemlerindendir (Kara ve Bay 2016). Ülkemizde evsel ve kentsel arıtma

çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik 03.08.2010 tarihli ve 27661 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmıştır. Bu yönetmelikte; kullanılabilecek arıtma çamuruna, toprağa, bitkiye ve diğer çevresel faktörlere ait fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler belirtilmiştir.

Arıtma çamurunun bertarafında yaygın kullanılan yöntemlerden olan arazi dolgusu, yakma, depolama (Metthews 1992; Zheng vd. 2006) gibi yöntemlerin ekonomik ve çevreci olmadığı açıktır. Bu soruna çözüm bulmak ve değerli bir organik madde kaynağı olan arıtma çamurunu ekonomiye geri kazandırmak amacıyla materyalin tarım alanlarında kullanımının araştırılması çok sayıda çalışmaya konu olmuştur (Lane 1988; Frost 2001). Arıtma çamurlarının araziye uygulanması dünya genelinde yaygın bir uygulama olup, arıtma çamuru bertaraf teknikleri içinde yarattığı ekonomik avantaj nedeniyle diğer tekniklerden daha fazla tercih edilmektedir (Metcalf ve Eddy 2003). Arıtma çamurunun toprağa uygulanması ile organik madde başta olmak üzere birçok bitki besin elementini (N, P, S v.b.) toprağa geri kazandırdığı (Logan ve Harrison 1995; Kulling vd. 2001) ve uygulandığı toprağın porozitesi (Frost 2001), su tutma kapasitesi, havalanma ve katyon değişim kapasitesi gibi birçok fiziksel özelliğinin de gelişmesine katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Engelhart vd. 2000). Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasının toprak-bitki-su ilişkisine olan olumlu katkısından dolayı dünya genelinde yaygın bir uygulama olup, arıtma çamuru bertaraf teknikleri içinde yarattığı ekonomik avantaj nedeniyle diğer tekniklerden daha fazla tercih edilmektedir (Metcalf ve Eddy 2003). Toprağa arıtma çamuru uygulamasının bahsedilen faydaları materyalin çim üretiminde organik toprak düzenleyicisi olarak kullanım imkânlarını aklı getirmektedir. Ancak arıtma çamurlarının kimyasal bileşimleri atıkların geldiği kaynağa göre değişim göstermektedir (Hue ve Ranjith 1994; Singh ve Agrawal 2007). Özellikle yoğun kimyasal girdi kullanan sanayi işletmeleri kaynaklı atık suların sisteme dahil olması arıtma çamurlarının ağır metal konsantrasyonlarını kritik düzeylere çıkarabilmektedir (Smith 1992; Silveira vd. 2003).

Arıtma çamurunun ağır metal içeriği materyalin tarımsal alanlara uygulanmasını kısıtlayan temel faktörlerden biridir (Sims ve Kline 1991). Bu kısıtlamanın sebebi orta ve uzun vadede toprağa uygulanan arıtma çamurunun içerdiği ağır metallerin besin zinciri yolu ile canlılara geçip, birikme riskidir (Dudka ve Miller 1999). Ayrıca arıtma çamurunun özelliği kadar uygulandığı toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri de ağır metallerin toprakta birikimleri ve bitkiye geçişleri (bioavailability) üzerinde belirleyici olmaktadır (Hue ve Ranjith 1994). Toprağın önemli kimyasal özelliklerinden biri olan toprak pH’ı arıtma çamurlarının toprağa uygulanmasını düzenleyen yasal sınırlamalarda kriter olarak kullanılmaktadır (European directive 86/278/ C). Çünkü toprak pH’ı ağır metallerin toprak çözeltisine geçişi ve bitki tarafından alınabilirliği üstüne önemli etkiye sahiptir (Kazi vd. 2005). Toprak pH’ına doğrudan etkisi nedeniyle toprakların kalsiyum karbonat içerikleri de göz önünde tutulan bir başka faktördür (Orman ve Kaplan 2007). Ağır metallerin bitkiye geçişini etkileyen bir diğer önemli faktör de bitki tür ve çeşididir (Hooda vd. 1997). Bitkilerin ağır metalleri alma, dokularında biriktirme ve tolerans yetenekleri türlere göre büyük farklılık göstermektedir (Davis ve Carlton-Smith 1980; Behbahaninia vd. 2009). Ayrıca aynı bitkinin farklı dokularında da ağır metal konsantrasyonları farklılık gösterebilmektedir (Singh ve Agrawal 2007). Arıtma çamurunun toprağa güvenle

uygulanması için kullanılacak arıtma çamurunun içeriklerinin bilinmesinin yanı sıra uygulanacağı toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Yürütülen çalışma ile yasal düzenlemelere bağlı kalarak rulo çim üretiminde arıtma çamurunun ekonomik ve çevreci kullanımının araştırılması hedeflenmiştir. Bölgemizde rulo çim ile çim alan tesisi yaygın şekilde tercih edilen bir uygulamadır (Şekil 1.1.). Denemede bitki materyali olarak hibrit bermuda çimi ‘Tifway’ (*Cynodon dactylon* x *C. transvaalensis*) ve İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) birlikte kullanılmıştır. Deneme kurulmadan önce bölgede aktif rulo çim üretimi yapan firmaların üretim sahalarında incelemeler yapılmıştır. Rulo çim üretimi ile ilgili pratikte yapılan uygulamalar, yaşanan sorunlar ve müşteri talepleri gibi konular hakkında sektörün tecrübelerinden istifade edilmeye çalışılmıştır. Proje planlanırken söz konusu fizibilite çalışması da göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 1.2.).



Şekil 1.1. Şehrimizde rulo çim kullanımına bir örnek

Denemede kullanılan arıtma çamuru $210.000 \text{ m}^3 \text{ gün}^{-1}$ arıtma kapasitesi ile Antalya iline hizmet veren en önemli atık su arıtma tesisi olan Hurma ileri atık su arıtma tesisinden temin edilmiştir. Materyalin kurutulmuş ve stabilize edilmiş olması tarımsal üretimde uygulama avantajı sağlamaktadır. Tarla denemesi olarak planlanan çalışmada parsellere artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması yapılarak rulo çim üretimi gerçekleştirilmiştir. Arıtma çamuru uygulaması ile kimyasal gübre uygulamasının

birlikte denendiği konularda çalışmaya dahil edilerek materyalin kimyasal gübreleme ile birlikte kullanımı da araştırılmıştır. Gözleme ve kimyasal analizlere dayanan veriler istatistiksel olarak değerlendirilip yorumlanmıştır.



Şekil 1.2. Ziyaret edilen rulo çim üretim sahası

Denemede kullanılan arıtma çamuru 210.000 m³/gün arıtma kapasitesi ile Antalya iline hizmet veren en önemli atık su arıtma tesisi olan Hurma ileri atık su arıtma tesisinden temin edilmiştir. Materyalin kurutulmuş ve stabilize edilmiş olması tarımsal üretimde uygulama avantajı sağlamaktadır. Tarla denemesi olarak planlanan çalışmada parsellere artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması yapılarak rulo çim üretimi gerçekleştirilmiştir. Arıtma çamuru uygulaması ile kimyasal gübre uygulamasının birlikte denendiği konularda çalışmaya dahil edilerek materyalin kimyasal gübreleme ile birlikte kullanımı da araştırılmıştır. Gözleme ve kimyasal analizlere dayanan veriler istatistiksel olarak değerlendirilip yorumlanmıştır. Çalışmanın hedefi ölçülüp, kıyaslanabilir verilerin ışığında arıtma çamurunun toplumun her kesiminin kabul edebileceği çevreci ve ekonomik bir değerlendirme kapsamında; daha düşük girdi ile daha kaliteli çim alan oluşturabilme potansiyelini ortaya koymaktır. Bu kapsamda bu tezin amacı farklı dozlarda uygulanan arıtma çamurunun, rulo çim üretiminde kullanım olanaklarını araştırmaktır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Atık Sorunu

Şehir nüfusunun artması ve sanayi devrimi ile birlikte evsel ve endüstriyel atıklar büyük bir sorun haline gelmiştir. Ortaya çıkan atıkları azaltmak ve bu atıkların çevreci ve ekonomik geri kazanım yollarının araştırılması çağımızın öncelikli konularındandır. Toplumda çevre bilincini artırma çalışmaları ve kurulan katı atık geri kazanım tesisleri şehirlerin çöp sorununa bütünüyle çözüm olmasa bile yönetilebilir hale getirmiştir. TÜİK verilerine göre ülkemizde kişi başı günlük 1.16 kg atık ortaya çıkmaktadır. 2018 yılı itibari ile ülkemizdeki belediyelerin %98.8'i yaklaşık 76 milyon nüfusa atık hizmeti vermektedir. Belediyeler tarafından yılda 32 milyon tondan fazla atık toplanmaktadır. Bu atıkların 4 milyon ton kadarı geri kazanım tesislerine giderken 20 milyon tondan fazla kısmı ise düzenli depolama tesislerinde birikmektedir (TÜİK 2019).

Ancak sorunun bir diğer boyutu da atık sularıdır. Evsel ve endüstriyel kaynaklı olabilen bu suların herhangi bir arıtmadan geçirilmeden deniz, göl, akarsu gibi alıcı ortamlara deşarj edilmesi ciddi çevre ve sağlık sorunlarına yol açabileceği bilinmektedir (Pagliai ve Guidi 1980; Muslu 1996). Bu sebeple evsel ve endüstriyel kaynaklı atık suların alıcı ortamlara deşarj edilmesinin sebep olabileceği olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için atık su arıtma tesisleri topluma hizmet vermektedir. Bu tesisler temizlenmesi hedeflenen atık suyun karakteristiğine ve miktarına göre projelendirilmektedir (Filibeli 2013). İlk örneklerine 1900'lü yılların başında Amerika'da rastladığımız atık su arıtma tesislerinin sayıları ve kapasiteleri o günden bugüne ciddi artış göstermiştir. Tük verilerine göre 1994 yılında ülkemizde belediye şebekesinden alıcı ortamlara deşarj edilen atık suyun yaklaşık %10'luk kısmı arıtılırken bu değer 2018 yılında %88.3'e yükselmiştir. 2018 yılı itibari ile belediye şebekesinden alıcı ortamlara deşarj edilen toplam atık su miktarı 4.8 milyar metreküpe yaklaşmıştır. Bu suların 4.2 milyar metreküpten fazla kısmı arıtılmıştır (TÜİK 2019). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2010 yılı verilerine göre ülkemizde toplam 305 adet atık su arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin bölgeler bazında dağılımına baktığımızda Marmara Bölgesi'nde 71, Karadeniz Bölgesi'nde 36, Ege Bölgesi'nde 84, Akdeniz Bölgesi'nde 51, İç Anadolu Bölgesi'nde 41, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 13 ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde 9 adet tesis olduğu görülmektedir. Ülkemizin en yüksek nüfus ve sanayi yoğunluğuna sahip Marmara bölgesinin beklenildiği gibi en fazla tesise sahip bölge olduğu görülmektedir (Anonim 2015).

2.2. Arıtma Çamuru ve Stabilizasyon

Günümüzde sayıları gittikçe artan tesis sayısı atık su problemini önemli ölçüde çözmekle birlikte çözüm bekleyen yeni bir sorunu da beraberinde getirmektedir. Atık suyun tesiste arıtımı neticesinde arıtma çamuru olarak adlandırılan yeni bir atık materyal birikmektedir. Dünyada ortaya çıkan arıtma çamuru miktarı her geçen gün artmaktadır (Rozada vd. 2005). Bu materyalin sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerden dolayı herhangi bir işlemten geçirilmeden plansız şekilde doğaya bırakılması halinde ciddi çevre sorunlarına neden olabileceği bilinmektedir (Kar 2014).

Aritma çamurlarının özelliklerini belirleyen temel faktör, atık suyun kaynağı olduğu için üç başlıkta genellenmesi mümkündür. Bunlar: içme suyu, atık su ve endüstriyel atık su kaynaklı arıtma çamurlarıdır (Yıldız vd. 2009). Arıtma çamurları evsel ve endüstriyel atık suların arıtılması aşamasında kendiliğinden çökebilen katı maddeler ile biyolojik ve kimyasal işlemler sonucunda ortaya çıkan maddelerden oluşur. İçerisindeki katı madde oranı %0.25 ile %12 arasında değişim gösterebilir. Materyal bu hali ile akışkan özelliğe sahiptir (Okur ve Delibacak 1996). Arıtma çamurunun karakterini atık suda kirliliği oluşturan faktörler ve tesisin arıtma prosesi belirler. Bu çamurlar, askıda katı maddelerin çökmesi ile ortaya çıkan ön çökeltme çamurları, kimyasalların dahil olduğu süreçte floküle olup çöken kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma sürecinde ortaya çıkan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma süreçlerinden doğan alum çamurları olarak da adlandırılır (Düzgün 2018).

Arıtma çamurları, atık su arıtma tesislerinde geçirdikleri her aşamada farklı kirlilik yüklerine sahiptirler. Bu durum ortaya çıkan çamurların farklılık arz etmesine neden olmaktadır. Tesiste geçirdikleri aşamaya göre birincil arıtma çamuru, ikincil arıtma çamuru ve kimyasal arıtma çamuru olarak adlandırılırlar. Daha ziyade fiziki arıtmanın yapıldığı birincil aşamada çökebilen durumdaki katı maddeler ve köpük uzaklaştırılır. Çökeltim havuzu tabanında toplanan maddeler birincil arıtma çamuru olarak adlandırılır. İkincil arıtmada aktif ajanlar mikroorganizmalardır ve bakteriyel çoğalma ile organik maddelerin CO₂ ve biokütleye dönüşümü sağlanır. Böylece biyolojik oksijen gereksinimi giderilir. Sisteme gerekli oksijen, hava pompaları ile basılır. Süreçte mikroorganizmalar yoğun şekilde görev aldığı için biyolojik arıtma olarak da adlandırılır (Aydın 2004). İkincil arıtma sonunda aerobik çürütülmüş çamur ortaya çıkmaktadır (Ekşi 2007). Atık su arıtımı sürecinde fiziksel işlemler, kimyasal işlemler ve mikroorganizma faaliyetleri neticesinde oluşan istenmeyen çözünmüş durumdaki organik maddeler, metal tuzları ve besin elementlerinin (azot ve fosfor) giderilmesi için ikincil arıtma proseslerine ek olarak kurulan sistemlere ileri arıtma sistemleri denir. Bu amaçla hedeflenen kirliliğe özel kimyasal madde ilavesi ile kirlilik kimyasal koagülasyon işlemi ile sudan ayrılır ve kimyasal arıtma çamurları ortaya çıkar (Filibeli 2013). İleri arıtım, alıcı ortam deşarj standartlarının sağlanması için gereklidir. Ortamda amonyak ve nitratin oluşumu toksiktir ve azot giderimi, azot oluşumu ile gelişen biyolojik bir prosestir. Her bir adım spesifik bakteriler ile yürütülür ve gelişimi için farklı şartlara ihtiyaç vardır (Düzgün 2018).

Arıtma çamuru atık su arıtma prosesi sonunda ağırlıkça %0,25 ile %12 katı madde içeren sıvı-katı karışım olarak ortaya çıkar. Ham çamur olarak adlandırılan bu materyal nihai uzaklaştırmadan önce daha kolay depolanabilmesi ve değerlendirilebilmesi için organik madde içeriği, patojen kontaminasyonu ve koku problemi gibi olumsuz özelliklerini azaltmak amacıyla değişik yöntemlerle yeterli seviyeye kadar stabilize edilir. Bu süreçten geçen arıtma çamurları stabilize edilmiş arıtma çamuru olarak tanımlanırlar (Vlyssides ve Karlis 2004; Akyarlı ve Şahin 2005). Arıtma çamurlarının işlenerek çevreye verebileceği zararların mümkün oldukça azaltılması çevre sağlığı açısından atık suların arıtımı kadar önemli bir konudur. Bu amaçla arıtma çamurları biyolojik, kimyasal ya da ısıl işleminden geçirilir. Böylece organik madde içeriği ayarlanır (daha kararlı ya da inert organik ve inorganik hale dönüştürülmesi), patojen organizma tür ve sayısı baskılanır. Toksisite kontrolü sağlanırken koku probleminin azaltılması ve gaz üretme potansiyelinin düşürülmesi de

hedeflenir. Bu amaçla arıtma çamuruna uygulanan bir dizi biyolojik veya kimyasal işlemden sonra arıtma çamuru stabilize edilmiş olur (Appels 2008). Arıtma çamurlarının biyolojik olarak stabilize edilmesinde sıklıkla kullanılan yöntemler aerobik çürütme, anaerobik çürütme, alkali stabilizasyon ve kompostlaştırmadır. Arıtma çamurlarının kireç kullanılarak stabilizasyonu ise kimyasal stabilizasyon işlemlerinde en çok tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir (Tchobanoglous vd. 2003; Lu vd. 2008). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile birçok üniversitenin ortak çalışması ile gerçekleştirilen “Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi” başlıklı proje kapsamında ülkemizdeki atık su arıtma tesislerinin %25’inde stabilizasyon uygulandığı belirlenmiştir. Stabilizasyon uygulayan tesislerin yarısı aerobik çürütme yöntemini tercih ederken, diğer tesisler anaerobik çürütme ve kireçle stabilizasyon yaptığı görülmüştür (Anonim 2015).

2.3. Türkiye’de ve Dünyada Arıtma Çamuru Sorunu

“Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi” projesi kapsamında; ülkemizde hizmet veren her bir atık su arıtma tesisine ulaşarak faaliyetleri ile ilgili anket çalışması yapılmıştır. Bu çalışmadan çıkan bulgulara göre Türkiye’de kişi başı ortaya çıkan arıtma çamuru miktarı 35 g KM gün⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Sonuçları bölgelere göre değerlendirdiğimizde en az arıtma çamuru, arıtma kapasitesinin en düşük olduğu Karadeniz bölgesinde (anket verisi 15 ton KM gün⁻¹, hesaplanan 19 ton KM gün⁻¹) ortaya çıkarken en yüksek arıtma çamuruna da arıtma kapasitesinin en yüksek olduğu Marmara Bölgesin’de (anket verisi 295 ton KM gün⁻¹, hesaplanan 335 ton KM gün⁻¹) rastlanmıştır. Doğu Anadolu Bölgesi 28 ton KM gün⁻¹ (hesaplanan 30 ton KM gün⁻¹), Güney Doğu Anadolu Bölgesi 42 ton KM gün⁻¹ (hesaplanan 50 ton KM gün⁻¹), Ege Bölgesi 198 ton KM gün⁻¹ (hesaplanan 236 ton KM gün⁻¹), İç Anadolu Bölgesi 213 ton KM gün⁻¹ (hesaplanan 223 ton KM gün⁻¹) ve Akdeniz bölgesi 115 ton KM gün⁻¹ (hesaplanan 184 ton KM gün⁻¹) olarak belirlenmiştir. Türkiye genelinde üretilen çamur miktarı ise anketlerden alınan bilgilere göre toplam 907 ton KM gün⁻¹ olup, hesaplama yöntemiyle 1087 ton KM gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Ülkemizde ortaya çıkan mevcut arıtma çamuru ile gelecekte yapılması planlanan tesislerden ilave olacak arıtma çamurlarını birlikte göz önünde bulundurarak 2025 ve 2040 yılında ortaya çıkacak toplam arıtma çamuru tahminleri çalışma kapsamında yapılmıştır. Araştırmacıların tahminlerine göre ülkemizde 2025 yılında ortaya çıkması beklenen arıtma çamuru miktarı yıllık 847.326 ton kuru madde iken bu değer 2040 yılında 911.069 ton kuru madde olarak hesaplanmıştır (Anonim 2015). Bu değer 2004 yılında başka bir çalışmada ülkemiz için 580.000 ton olarak tahmin edilmiştir (UN-Habitat 2008).

Diğer ülkelerin kuru madde olarak arıtma çamuru üretimleri incelendiğinde 2004 yılında Amerika birleşik devletlerinde 6.514.000 ton; 2005 yılında Brezilya 372.000 ton; 2006 yılında Çin 2.966.000 ton ve Japonya 2.000.000 ton; 2008 yılında İran 650.000 ton, Ürdün 300.000 ton, Avustralya 360.000 ton ve Yeni Zellanda 360.000 ton olarak tahmin edilmiştir (UN-Habitat 2008). Avrupa birliği ülkelerinin 2010 yılı itibari ile kuru madde olarak arıtma çamuru üretimleri ise 8.909.000 ton olarak hesaplanmıştır (Eurostat 2014).

2.4. Arıtma Çamurlarının Özellikleri ve Bertarafı

Atık su arıtma tesislerinin çok yıllık verileri incelendiğinde görülmektedir ki dünyada ve ülkemizde arıtılan atık su miktarı her geçen gün artmaktadır. Bu durum bertaraf edilmesi gereken arıtma çamuru miktarının da aynı oranda arttığını göstermektedir (Mateo-Sagasta 2015). Bu noktada materyalin sahip olduğu özellikleri ve bu özelliklerin çevresel etkilerini iyi anlamak materyali çevreci ve ekonomik bir şekilde bertaraf edebilmek için önemlidir. Arıtma çamurunun özelliğini belirleyen en önemli faktörler atık suyun kaynağı ve tesiste uygulanan işlemlerdir (Taşatar 1997; Filibeli 2013). Atık su arıtma tesislerinin maliyetlerinin yaklaşık yarısı ortaya çıkan arıtma çamurunun güvenli bertarafı için harcanmaktadır (Winkler 1993).

Arıtma çamurlarının bileşimleri kaynaklarına ve arıtma prosesi boyunca geçtiği aşamalara göre değişmekle birlikte genel olarak arıtma çamurunun öne çıkan özellikleri; organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, toksik organik bileşikler, ağır metal ve patojen içerikleridir (Bayrak 2008). Bu maddelerden bir kısmı tarımsal değeri olan organik madde ve bitki besin elementleri olduğu gibi bir kısmı da atığın bertarafını kısıtlayan ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler gibi istenmeyen içeriklerdir. Riskli özellikleri kabul edilebilir sınırların altına indirilmemiş çamurların araziye plansız bırakılması, kötü koku ve patojen mikroorganizma sorunu ile birlikte yer üstü ve yeraltı sularının kirlenmesine neden olabilmektedir (Rhyner vd. 1995). Arıtma çamurunun bertarafı için toprağa uygulama, yakma, denize dökme ya da saha dolgu malzemesi olarak değerlendirmesi kullanılan yöntemlerdendir. Ancak her geçen gün artan arıtma çamurlarının bertarafı için seçilen yöntemin sürdürülebilir olması önemlidir. Seçenekler arasında materyali toprağa uygulama alternatif yöntemlere göre çoğu zaman daha fazla avantaj sağlamaktadır. Yöntemin uzun vadede kalıcı çözüm sunması ve materyaldeki yararlı elementleri toprağa geri kazandırması ekonomik ve çevrecidir. Arıtma çamurunun toprağa uygulanması ile toprak, su ve canlı sisteminde oluşabilecek riskler titiz değerlendirilmeli eğer mevcut risk kabul edilebilir sınırlarda ise materyalin araziye uygulanmasının en iyi yöntemlerden biri olduğu unutulmamalıdır (Demirel 2010; Singh ve Agrawal 2010).

Arıtma çamuru ve toprak özelliklerinin bölgeye özel olması, ülkelere göre yasa ve yönetmeliklerin farklılığı ve teknik imkanlar gibi konular başta olmak üzere diğer pek çok faktör arıtma çamurlarının bertarafı konusunda genel geçer bir yöntemin seçilmesini imkansız kılmaktadır (Bilgin vd. 2002). Evsel kaynaklı atık sular endüstriyel kaynaklı atık sulara göre genelde daha az risk taşır. Ancak evsel atık suların içeriğinde bulunan kirletici mikroorganizmaların birçoğu canlılar için patojen olabildiği gibi insan kaynaklı atıklar ile kirlenmenin indikatörü olan Koliform bakterilerine de rastlanır. Bu sulara alg yoğunluğu zaman zaman ciddi koku problemine neden olabilmektedir. Bu sebeple bakteriler ile etkili bir biyolojik arıtma süreci ve sonrasında stabilizasyon şarttır (Dağ 2010). Endüstriyel kaynaklı atık sular gıda, maden, cam, tekstil, kimya, petrokimya, deri, metal, mobilya, makine ve yedek parça sanayi gibi tesislerden gelen organik maddesi nispeten daha az kimyasal kirliliği daha fazla olan sulardır (İleri 2007). Kimyasal kirliliği, atık suyun geldiği sanayi tesisinin çeşidine göre asitler, alkaliler, metal tuzları, fenoller, oksitleyiciler, boyalar, sülfatlar, hidrokarbonlar, yağlar, ağır metaller, organik fosfor ve azot oluşturabilmektedir (Taşatar 1997). Ülkemizde yoğun bir ağır sanayinin olmaması, mevcut sanayi tesislerimizin daha çok organize sanayi bölgelerinde teşekkül etmesi ve organize sanayi bölgelerinin atık su

arıtma tesislerinin çoğunlukla kentsel atık su arıtma tesislerinden ayrı olması sanayi atıklarının evsel atık sulara karışmasını ciddi oranda sınırlandırmaktadır. Bu durum ülkemiz genelinde kentsel atık su arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamurlarında kirletici konsantrasyonlarının düşük seyretmesine neden olmaktadır (İşgenç ve Kınay 2005). Böylece ülkemizde arıtma çamurlarının ekonomik ve çevreci bertarafı nispeten daha kolay olabilmektedir.

Arıtma çamurlarının bertarafında en sık kullanılan yöntemler yakma, düzenli depolama veya araziye uygulamadır. Avrupa ülkelerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının %40'ı düzenli depolama tesislerinde, %37'si tarımsal alanda, %11'i yakma tesislerinde, %12'si ise diğer yöntemlerle bertaraf edilmektedir (Özcan vd. 2011). Atık su arıtma tesislerinin çalışmaya başladığı ilk yıllarda konu ile ilgili eksik bilgi ve tecrübe nedeniyle ortaya çıkan arıtma çamurları tüm dünyada denizlere kontrolsüzce dökülmüştür. Ancak bu yöntemin çevreye ve insanlığa verdiği zararın zamanla anlaşılması ile daha az tercih edilmiş, son olarak da 1 Ocak 1999 tarihinden itibaren yasaklanmıştır (Arıkan ve Öztürk 2008).

Düzenli depolama işleminden önce mevcut depolama alanını daha ekonomik kullanmak ve atığı kontrol altında tutabilmek için arıtma çamurunun suyu doğal ya da mekanik yollar ile alınmalıdır. Materyal çevre sağlığı ve güvenliği açısından gerekli önlemler alınmış depolama alanına serilmeli ve üstü örtülmelidir (Filibeli 1996; Aksu 2008). Arıtma çamurunun susuzlaştırılması aşamasında her bir ton suyun buharlaşması için kurutma tekniğine bağlı olarak 900-1300 kwh enerji gerektiği için susuzlaştırma işlemi tesis için ciddi maliyetlidir (Hebbar vd. 2004). Bu sebeple son yıllarda çamur kurutma işleminde ekonomik ve çevreci avantajları nedeniyle güneş enerjisinden yararlanan tesislerin sayısı artmıştır (Salihoğlu 2007). Ülkemizde atıkların düzenli depolanması yapılırken 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe uygun hareket edilmelidir (Anonim 2010). Avrupa birliği arıtma çamurlarının arazide kullanılarak geri kazanılmasını teşvik etmektedir. Bu amaçla yayınladığı katı atıkların düzenli depolanmasına ilişkin 1999/31/EC nolu direktifte 2013 yılı itibari ile atıkların %50'den, 2020 yılı itibari ile de %35'ten fazlasını düzenli depolama alanlarında gömülerek bertaraf edilmesini kısıtlamıştır (Anonim 1999; Aksu 2008).

Arıtma çamurlarının bertarafında kullanılan bir diğer yöntem de yakmadır. Bu amaç için özel yapılmış fırınlarda arıtma çamurları tek başlarına ya da başka materyaller ile birlikte yakılmaktadır. Yakma işlemi ile materyal daha az tehlikeli ve daha stabil bir hale dönüşmekle birlikte hacminde %90'a, ağırlığında % 75'e varan oranlarda azalma sağlanabilmektedir. Yakma ile elde edilen ısı enerjisi sıklıkla elektrik üretiminde kullanılarak geri kazanım sağlanmaktadır (Palabıyık 1998). Danimarka sahip olduğu 34 adet atık yakma tesisinde, ihtiyacı olan elektriğin %4'ünü ve ısı enerjisinin %18'ini atıkları yakarak elde etmektedir (Kılıçarslan ve Özön 2012). Ülkemizde atıkların yakılma işlemi 06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan yönetmeliğe uygun olmalıdır. Zorlu ve Pehlivan (2016) arıtma çamurunun alternatif yakıt olarak kullanımını araştırdıkları çalışmada; arıtma çamuru ile çotanak farklı oranlarda karıştırılmış ve kurutularak birlikte yakılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki çotanak ve arıtma çamuru karışımlarının verdiği ısı, elektrik santrallerinde yakıt olarak tercih edilen linyit kömürüne yakın değerdedir. Filibeli'nin (1997) bildirdiğine göre elektrik santrallerinde kullanılan linyit kömürün kalorifik değeri 4 Kcal kg⁻¹

civarındadır. Arıtma çamurları geçirdiği işlemlere bağlı olarak değişmekle birlikte ısı değerleri 6 Kcal kg⁻¹ (ham ön çökeltim çamur) ile 3 Kcal kg⁻¹ (anaerobik çürümüş çamur) arasında değişmektedir.

Ülkemizde 53 adet çimento fabrikası yıllık 100 milyon tonun üzerinde çimento üretim kapasitesi ile hizmet vermektedir. Çimento sanayi enerji yoğun bir sanayi koludur. Çimento sanayinde üretim maliyetinin %30-40'ını enerji tüketimi oluşturduğu bilinmektedir. Çimento sanayinde üretim maliyetlerini düşürmek için atıkların yakılması tüm dünyada rastlanan bir uygulamadır. Ülkemizde hizmet veren 53 çimento fabrikasından 34'ü Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından verilen "Atık Yakma ve Beraber Yakma" çevre lisansına sahiptir. Bu tesisler, atık su arıtma çamurlarını kurutmak için de ideal tesislerdir (Öztürk 2018). Yakılan arıtma çamurlarından geriye %15-20 oranında taban külü %5 oranında da uçucu kül kalmaktadır (Saltabaş ve Soysal 2010). Arıtma çamurlarının tek başına ya da birlikte yakılarak bertarafını sınırlandıran faktörlerin başında yakma tesislerinin çalışabilmesi için ihtiyaç duyduğu filtre sistemlerinin yüksek maliyeti gelir (Candar 2011).

2.5. Arıtma Çamurlarının Toprağa Uygulanarak Bertarafı

Artan tesis sayısı ile gün geçtikçe daha da biriken arıtma çamurlarının çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi dünyamız için kritik öneme sahiptir. Araştırmacılar arıtma çamuru için nihai bertaraf yöntemi seçilirken öncelikli olarak seçilen yöntemin yönetmeliklere uygun olması gerektiğini belirtmektedirler. Ayrıca yöresel koşullara uygunluk, toplum tarafından genel kabul görmesi, enerji ihtiyacını minimize etmesi, malzeme ve enerji geri kazanımına ya da yeniden değerlendirilmesine imkan sağlaması gibi beklentilerinde göz önünde bulundurulması tavsiye edilmektedir (Lee ve Liu 2004). Bu nedenle kullanılan birçok yöntem içerisinde sağladığı ekonomik avantajla birlikte arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı son dönemde daha çok tercih edilmeye başlanmıştır (Uzun ve Bilgili 2011). Özellikle evsel kaynaklı stabilize edilmiş arıtma çamurlarının tarımda kullanılabilme şansı yüksektir (Filibeli 2013). Düzenli depolanmada karşılaşılan sorunlar ve hukuki sınırlamaların da (1999/31/EC nolu AB direktifi gibi) etkisi ile arıtma çamurlarının tarımsal kullanımı ile ilgili çalışmalara ve uygulamalara ilgi artmıştır (Öbek vd. 2004).

İçerdikleri kimyasal madde niteliği ve niceliği geniş varyasyon gösteren arıtma çamurlarının, tarım gibi çevre ve insan sağlığını doğrudan ve dolaylı etkileyebilecek bir alanda bilinçsiz kullanımının önüne geçmek için dünyada ve ülkemizde materyalin kullanımı ile ilgili bilimsel kriterlere bağlı yasal sınırlamalar getirilmiştir (Terzi 2007). Arıtma çamurlarının tarımda kullanımı ile ilgili uygulanan sınır değerler devletlere göre farklılık göstermektedir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri (ABD), konu ile ilgili izinleri ABD Çevre Koruma Ajansı (U.S. EPA) tarafından stabilize edilmiş arıtma çamurlarının tarım alanlarına uygulanmasını düzenlemek üzere temiz su yasası çerçevesinde hazırladığı "Part 503 Rule" olarak adlandırılan yönetmeliğe göre düzenlemektedir. Bu yasada kirletici metaller için limitler belirlenmiş, patojen ve vektörler standartlar ile sınırlandırılmıştır (US EPA 1993). Benzer şekilde Avrupa Birliği Konseyi de 12 Haziran 1986'da "Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılması Sırasında Doğanın ve Toprağın Korunmasına Yönelik Arıtma Çamuru Direktifi (86/278/EEC)" adlı bir yönetmelik yayınlamıştır (AB direktifi 86/278/EEC). Avrupa birliği bu yönetmelikle üye ülkelerin kendi standartlarını oluşturmalarında

yararlanmaları amacıyla arıtma çamurunda bulunan yedi birleşen için kirletici konsantrasyon aralıkları önermektedir. Her üye ülke kendisi için, tavsiye edilen değerlerden daha katı standartlar belirleme hakkına sahiptir. Avrupa Birliği yayınladığı bu yönetmelik ile arıtma çamurlarının doğru kullanımını teşvik ederken bir yandan da tarımda kullanımını düzenlenmeyi ve arıtma çamurunun toprak, bitki, hayvan ve insan üzerindeki zararlı etkilerini önlenmeyi amaçlamaktadır. Ülkemizde arıtma çamurlarının toprakta kullanılması 03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” ile düzenlenmiştir. Bu konuda yapılan bütün uygulamalar öncelikle bu yönetmeliğe uygun olmalıdır (Anonim 2010b).

Yaman (2009) tarafından yapılan çalışmada Türkiye, Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri’nde arıtma çamurunun tarımsal kullanımı ile ilgili yasal düzenlemeler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışma göstermektedir ki tarımsal amaçlı arıtma çamuru kullanımı konusunda en toleranslı ülke Amerika Birleşik Devletleridir. Söz konusu ülkede arıtma çamurlarının tarımda kullanımı ile ilgili risk algısının diğerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Konu ile ilgili Türkiye’de geçerli olan yönetmelikte AB’nin resmi düzenlemesinde kirletici elementler için uyguladığı aralıklara sadık kalınarak en üst değerler benimsemiştir. Böylece Türkiye hem AB uyum süreci ile ilgili kriterleri sağlamakta hem de arıtma çamurunun tarımda kullanım imkanını mümkün oldukça geniş tutmaktadır.

2.6. Toprağa Arıtma Çamuru Uygulamanın Avantajları

Arıtma çamurları yüksek organik madde (%40-70) ve kayda değer düzeyde makro (N, P, K) ve mikro (Fe, Zn, Mn, Mo, Cu, B) besin elementi içeriğine sahiptir. Uzun süreden beri tarımda gübreye alternatif ya da destek olarak arıtma çamurları kullanılmaktadır. Arıtma çamurlarının uygun şekilde toprağa verilmesi ile hem materyalin nihai bertarafı sağlanmakta hem de tarımsal üretimde girdi maliyetleri düşürülmektedir (Beck 1996; Kocaer vd. 2003). Arıtma çamurunun içeriğindeki makro ve mikro bitki besin elementleri bu atığa faydalı bir gübre (Lassen vd. 2004); yüksek organik madde içeriği ise iyi bir toprak ıslah materyali özelliği vermektedir. Sahip olduğu agronomik özellikler nedeniyle çoğu otorite bu ürünlerin tarımda kullanımına olumlu bakmakta ve birçok ülkede materyalin toprağa uygulanması yaygınlaşmaktadır (Strauch 1991, Düring ve Gäth 2002). Özellikle hafif bünyeli topraklarda arıtma çamuru uygulamasının kation değişim kapasitesinde artış sağladığı bildirilmiştir (Bertoncini vd. 2008). Ayrıca erozyonu önlediğine dair de çalışmalar vardır (Franco-Hernandez vd. 2003).

Gelişmiş ülkelerde arıtma çamurlarının içerikleri detaylı şekilde belirlendikten sonra tarımda güvenli kullanımı için gerekli önlemler alınarak gübre olarak kullanılmaktadır (Pedreno vd. 1996, Sommers 1997, Soumare vd. 2002). 1993 yılı itibari ile Amerika’da ortaya çıkan arıtma çamurunun %33’ü arazide kullanılmıştır. Arazide kullanılan arıtma çamurların %67’si tarım alanlarında, %3’ü orman alanlarında, %9’u ıslaha ihtiyacı olan alanlarda, %9’u yeşil alanlarda kullanılırken, %12’si de paketlenerek satılmıştır. Arıtma çamurlarının tarımda kullanımına Avrupa örneğinde baktığımızda 1992 yılı verilerine göre ortaya çıkan arıtma çamurlarının % 37’sinin tarım alanlarında kullanıldığını görmekteyiz (Dölgen 2004). Avrupa Birliği çevre politikası arıtma çamurlarının düzenli depolanarak ya da yakılarak bertarafından ziyade

tarım arazilerinde güvenli geri dönüşümünü teşvik etmektedir (Peterson 2003; Aksu 2008). Tarımsal üretimde dünyada önemli pay sahibi olan İspanya, arıtma çamurlarının %64'ünü tarımsal üretimde geri kazanmaktadır (Aparacia 2009). Arıtma çamurunun 1990 yılı verilerine göre tarımda kullanım yüzdeleri diğer ülkelerde şöyledir; Belçika %57, Danimarka %43, Fransa %27, Almanya %25, Yunanistan %10, İrlanda %23, İtalya %34, Lüksemburg %80, Hollanda %53, Portekiz %80, İngiltere %51 (Spinosa ve Vesilind 2001). Türkiye'de arıtma çamurlarının tarımda kullanım oranı yaklaşık %5-%10 düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir (Anonim 2015).

Arıtma çamurlarının tarımda kullanılması, bitki besin elementleri içeren organik materyal uygulaması olarak değerlendirilmektedir. Bu noktada toprağa arıtma çamuru uygulaması ile çiftlik gübresi uygulaması genel olarak kıyaslandığında arıtma çamurlarının azot ve fosfor içeriğinin daha zengin olduğu ancak potasyum içeriğinin çiftlik gübresine göre daha düşük seviyede kaldığı görülmektedir (Spellman 1997). Arıtma çamurunun tarımda kullanımı ile sınırlı süre için toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde iyileştirme yapılabilmektedir (Angın ve Yağanoğlu 2011). Evsel özellikteki arıtma çamurlarının organik içeriği şartlandırma ve arıtma yöntemlerine göre değişmekle birlikte genellikle kuru bazda %50'den fazladır. Arıtma çamurunun organik madde içeriği toprak ıslahı için değerli bir kaynaktır. Araştırmalar göstermiştir ki, toprağa çamur eklenmesi toprak gözenekliliğini arttırmakta, böylece toprak-bitki-su ilişkisine yardımcı olan toprak porozitesini desteklemektedir (Frost 2001). Arıtma çamurlarının tarımda kullanımı ile toprakta havalanma, su tutma kapasitesi (Wong vd. 2001; Rezig vd. 2012), porozite, tarla kapasitesi, faydalı su miktarı ve agregasyon yüzdesi (Delibacak vd. 2009a) gibi özelliklerin iyileştiği belirlenmiştir.

Her ne kadar arıtma çamurları tarımsal üretimde gübre ikamesi gibi düşünülmek istense de içerdikleri bitki besin elementi oranlarının ticari gübrelerin formülasyonundan farklı olması materyalin kullanımında bazı güçlüklerle neden olmaktadır. Toprağa bilinçsiz arıtma çamuru uygulaması N/K oranını potasyum aleyhine bozabilir. Arıtma çamurunun bitki besin elementi içeriği tespit edilip yetiştirilen bitkinin ihtiyaç duyduğu bitki besin maddesi miktarları göz önünde bulundurulmalıdır. Gerekirse üretim kimyasal gübreleme ile desteklenmelidir (OK 2012). Tarımsal üretimde kullanılan kimyasal gübreler farklı yüzdelerde bitki besin elementleri içermektedir. En çok tüketilen gübrelerde N/P/K'nın yüzde dağılımı sırasıyla 8:8:8 ve 5:10:10 şeklindedir. Arıtma çamurlarında N/P/K yüzdesi ise kimyasal gübrelerle nazaran daha düşüktür. Çünkü arıtma çamuru geçirdiği arıtma süreçleri sonucunda içerdiği bitki besin elementlerinin bir bölümünü kaybeder. Evsel kaynaklı arıtma çamurundaki N/P/K yüzdeleri genelde 3:2:0 civarındadır (Spellman 1997). Arıtma çamurları genelde kimyasal gübreyle nazaran daha düşük oranda bitki besin elementleri ihtiva etmektedir. Eğer arıtma çamuru uygulaması ile birlikte bitkinin ihtiyaç duyduğu bitki besin elementleri yeterli düzeyde sağlanamazsa bitkide yüksek su içeriğine sahip hücreler teşekkül edebilir. Bu durum bitki dokularında protein içeriğinin düşmesine neden olduğu gibi bitkinin hastalık-zararlı direncini de azaltır (Özdemir vd. 2005). Arıtma çamurları genel olarak kuru maddede ortalama %1-6 oranında azot içerir. Arıtma çamurundaki azot kimyasal gübrelerden farklı olarak hem organik hem de inorganik (amonyum, nitrat) formdadır. Arıtma çamurunda azotun organik formunun bitkiler tarafından alınabilmesi için mineralize olması gereklidir. Bu süreç artıma çamurunun stabilizasyon yöntemine, iklime, toprak yapısına, mikroorganizma

faaliyetlerine ve diğer birçok faktörün doğrudan ya da dolaylı etkisinde olduğu için zamana bağlıdır. Bu durum materyaldeki azotun tamamının bitki tarafından ilk yılda alınamamasına neden olur. Materyaldeki azot salınımı azalarak takip eden yıllara taşabilir (Bilgin vd. 2002). Benzer duruma çiftlik gübresi uygulamalarında da sıklıkla rastlanır. Çiftlik gübresi ile kimyasal gübrenin tek yıllık çim (*Lolium Multiflorum* Lam.) bitkisi üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada kimyasal gübre uygulamaları ile çiftlik gübresi uygulamaları kıyaslanmıştır. Sonuçlar kimyasal gübrede bulunan besin elementlerinin bitkilerce kolay ve hızlı alınabilir formda olmasından dolayı çiftlik gübresine göre bitkinin verim ve kalitesine daha kısa sürede etki ettiğini göstermiştir. Çiftlik gübresinin minerilizasyonunun zaman alması bitkilerin aynı yıl içinde çiftlik gübresinin ancak bir kısmından yararlanmasına imkan vermektedir. Bitkinin ihtiyaç duyduğu besinin tamamını istenen zaman diliminde çiftlik gübresi ile sağlamanın minarilizasyona etki eden faktörlerin karmaşıklığı nedeni ile kolay olamadığı sonucuna varılmıştır (Gültekin vd. 2010).

Aritma çamurundaki tarımsal açıdan bir diğer önemli bitki besin elementi de fosfordur. Materyalin fosfor içeriği kuru maddede ortalama %0.8 ile %6.1 arasında değişim gösterir. Fosfor elementi de azot elementi gibi arıtma çamurunda hem organik hem de inorganik formda bulunur. Arıtma çamurunun ihtiva ettiği fosforun bir kısmı bitki için yararlı formda olduğundan genel olarak mevcut fosforun yarısının yararlı olduğu kabul edilerek hesaplama yapılır (Bilgin vd. 2002). Arıtma çamurların potasyum içerikleri azot ve fosfor içeriklerine göre daha sınırlıdır. Genel olarak arıtma çamurları %0.5 ile %1 arasında değişen oranlarda potasyum içerirler (Frost 2001).

2.7. Toprağa Arıtma Çamuru Uygulamanın Riskleri

Aritma çamurunun tarımda kullanımı ile ilgili detaylar planlanırken bitki, toprak ve iklim faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır. Toprağa azot ve fosfor gibi bitki besin maddelerinin uygun miktarlarda sağlanması hedeflenirken sınır değerler aşılmamalıdır (Nisanoğlu 1998). Toprağa yüksek miktarda arıtma çamuru uygulaması birçok istenmeyen etki yanında materyalin ayrışması ile başlarda yoğun olarak ortaya çıkan amonyak gazından dolayı kötü koku problemi yaratabilir. Ayrıca tohumun çimlenmesi ve gelişimini de baskılayabilir. Bu durumun önüne geçmek için özellikle toprağa tek seferde aşırı arıtma çamuru uygulamalarından kaçınılmalıdır. Önlem olarak arıtma çamuru toprağa tohum ekiminden bir süre önce uygulanabilir (Filibeli 1996). Mahdavi ve Jafari (2010) yaptıkları çalışmada kapsamlı bir literatür taraması yaparak tarım alanlarına arıtma çamuru uygulanmasının neden olabileceği riskleri belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada ulaşılan sonuçlar göstermektedir ki arıtma çamurlarının maliyetlerinin diğer tarımsal girdilere göre çok düşük olması bu materyalin toprağa yüksek oranlarda kontrolsüz şekilde verilme riskini doğurmaktadır. Böyle bir yanlış uygulama ile içeriği sınır değerlere en uygun materyalin bile toprakta ağır metal toksisitesine yol açması muhtemeldir. Özellikle aşırı uygulamaların tekrar edilmesi ile ağır metallerin tüm ekosistemi tehdit edebileceğini ve besin zinciri yolu ile insanlara geçme riski olduğunu belirtmişlerdir.

Aritma çamurlarının çevreye zararlı olabilecek özelliklerinin başında organik kirlenici, patojen mikroorganizma ve toksik metal içeriği gelmektedir. Materyalin içerdiği risk unsurları bertarafını sınırlayan en önemli kısıttır. Potansiyel toksik element içeriği yüksek olan ya da patojen mücadelesi yeterli düzeyde yapılmamış arıtma

çamurlarının gübre olarak tarım arazilerinde kullanılmaları çevre ve halk sağlığı açısından büyük risktir (Akyarlı ve Şahin 2005). Atık su arıtma tesislerinde kompostlama, oksijenli-oksijensiz çürütme ve ısıtma işlem uygulamaları ile arıtma çamurunun bertarafını sınırlayan, organik kirletici ve patojen varlığını azaltmak mümkündür. Ancak atık suda mevcut olan ağır metaller nihai olarak arıtma çamurunda biriktiği için arıtma çamuru kaçınılmaz olarak ağır metal içerir. Arıtma çamurunun içerdiği ağır metal niteliği ve niceliği atık suyun kaynağına bağlıdır. Ağır metallerin arıtma çamurundan etkili şekilde yok edilmeleri ya da azaltılmaları mümkün değildir. Bu sebeple arıtma çamurlarının özellikle toprak uygulamaları ile bertarafını sınırlayan en önemli faktör ağır metal içeriğidir (Paulsrud 1997; Chipasa 2003). Arıtma çamurlarının araziye uygulanması ve tarımsal amaçlı kullanımında ağır metal içerikleri büyük önem taşıdığı için 03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte” materyalin kullanımı ile ilgili gerekli sınırlamalar yapılmıştır. Yönetmeliğin EK 1-A bölümünde topraktaki ağır metal sınır değerleri; EK 1-B bölümünde ise toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal muhtevaları verilmiştir (Anonim 2010).

Doğada sık karşılaşılan 35’den fazla metal bulunmaktadır. Açık ve tam bir tanımlaması yapılmamakla birlikte bu metallerden yoğunluğu 5 g/cm^3 ’den ağır ve atom numarası 20’den büyük olup; toksisite ve kirlilik yaratan metaller ağır metal olarak adlandırılır. 23 adet ağır metal vardır (Apaydın 2005). Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), demir (Fe), kobalt (Co), bakır (Cu), nikel (Ni), civa (Hg) ve çinko (Zn) sıklıkla karşılaşılan ağır metallerdendir (Özkan 2009; Seven vd. 2018). Çoğunlukla beşeri faaliyetler sonucu ortaya çıkan ağır metaller toprakta, sedimentte, temiz su kaynaklarında ve deniz suyunda birikmeye eğilimli oldukları için ekolojik dengeye zarar vermenin yanında akut sorunlara da neden olabilirler (Karaçağıl 2013).

Phalsson’a (1989) göre bitkiler türlerine, toprak özelliklerine ve bazı diğer faktörlere bağlı olarak topraktan hızlı ve verimli şekilde bitki besin elementlerini alırlar. Bu şekilde ağır metaller de bitki bünyesine alınmış olunur. Ağır metallerden bazıları mutlak gerekli bitki besin elementleridir (Cu, Fe, Mn, Zn gibi) . Bu elementlere bitki, belli dozlara kadar gereksinim duyarken sınır dozunun üstünde olumsuz etkilenirler. Bazıları da (Cd, Cr, Hg, Pb, Ti) gibi bitkinin ihtiyaç duymadığı ve düşük dozlarda bile toksisite yaratan elementlerdir. Bu elementler toksisite dozlarında bitkiler ve bitkileri tüketen diğer canlılar için tehlikelidir. Ağır metallerin bitkilerde gerçekleşen metabolik olaylar üzerindeki rollerini anlamak için ağır metal stresine karşı bitkilerin verdiği tepkileri ve adaptasyon mekanizmalarını anlamak oldukça önemlidir. Bitkilerin canlılığını sürdürebilmesi için gerçekleştirdiği fotosentez, transpirasyon, enzim aktivitesi, klorofil biyosentezi, çimlenme gibi olaylar ağır metallerin varlığından olumsuz yönde etkilenir.

Yapılan çalışmalarda ağır metallerin bitkide klorofil içeriğini düşürdüğü, bitki gelişimini ve respirasyonunu inhibe ettiği, hücre organellerinin yapısını değiştirdiği, çeşitli metabolik yollardaki anahtar enzimlerin aktivite ve miktarını değiştirdiği, böylece metabolik düzensizliklere neden olduğu bildirilmiştir (Guo and Zhang 2007). Bitkiler ortamda bulunan aşırı miktardaki ağır metalleri alarak proteinlerin sülfidril gruplarına bağlayabilir ve bu da bir fonksiyon kaybına veya yapısal değişikliğe neden olabilir. Böylece esansiyel elementlerin (Zn, Mg, Ca ve Fe gibi) alınımı engellenebilir ya da

daha farklı bir takım olumsuz etkiler doğabilir. Diğer taraftan ağır metaller serbest radikallerin oluşumunu tetikleyebilir veya oksijene bağlı reaksiyonlara ve böylece de oksidatif strese neden olabilirler (Hall 2002, Metwally vd. 2005). Metallerin toksisitesi, reaktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olarak protein, nükleik asit ve yağların yapısını bozar ve sonunda hücrenin ölümüne yol açar (Bai vd. 2003). MacFovlance vd'nin (2000) bildirdiğine göre ağır metal içeriği yüksek topraklarda yetişen bitkiler bu olumsuzluğu bertaraf etmek için bir takım mekanizmalar geliştirmişlerdir. Örneğin; bitkiye aşırı ağır metal alınımı ve bunun bitki üst organlarına taşınımı sonucu; hücre dış sınırının şekli değişir ve burada musilaj üretimi gerçekleşir. Ayrıca endodermal kaspari şeridi veya hücre duvarı aracılığıyla geçiş durdurulmaktadır. Ağır metal biriktirme kapasitesi yüksek olan bitkiler ağır metalleri vakuollerine taşırlar, burada yer alan organik asit, aminoasit veya metal bağlayan peptidler aracılığı ile bağlayarak toksisitelerini giderirler (detoksifikasyon).

Hall (2002) ve Metwally vd (2005) bitkilerin ağır metallere karşı oluşturduğu bir takım fizyolojik ve moleküler cevaplar şu şekilde sıralamışlardır:

- 1) Hücre dışı salgı salgılama ve hücre duvarına bağlama yoluyla alınımı azaltma.
- 2) Vakuol ya da tonoplastlarda depolama.
- 3) Organik asit, aminoasit vb moleküllerin yapısına katma.
- 4) Protein veya antioksidatif enzimlerin üretimini artırma.
- 5) Hücre yapısı bozulduğunda onarımını ve metabolik yolların yeterince fonksiyonel olmasını sağlamak için metabolizmanın modifikasyonunu ve aktivasyonunu gerçekleştirmek.

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda Cd, Cu, Ni ve Zn biyolojik olarak bulunabilirliğinin, Pb, Hg ve Cr'dan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ancak mobil elementler için bile arıtma çamuru ile her yıl eklenen metal miktarının %0.05'inden daha küçük bir bölümünün ürüne geçtiği belirtilmektedir. Aynı zamanda arıtma çamurları diğer ağır metal içeren kaynakların çoğundan farklı bir özelliğe sahiptir, bu da arıtma çamurunun önemli oranda organik madde, Fe ve Mn gibi adsorbif maddeleri bünyesinde bulundurmasıdır. Genellikle Zn, Cu ve Ni bitki dokusunda insan sağlığına zarar verecek seviyeye ulaşmadan önce bitkiler için fitotoksik olmakta ve ayrıca bu üç elementin bitkide fitotoksik etkisi sadece asidik topraklarda ortaya çıkmaktadır (Bilgin vd. 2002). Toprak pH'sının azalması ile aktif alüminyum miktarı da önemli derecede artar. Mangan, Fe ve Al topraktaki doğal miktarları arıtma çamuru ile uygulanacak miktarların genellikle üzerindedir. Alüminyum ve manganın fitotoksik etkisi sadece asit karakterli topraklarda görülmektedir. Toprağın asitleşmesi bitki büyümesi ve gelişimini olumsuz yönde etkileyen ağır metallerin (Cd, Cr, ve Pb gibi) konsantrasyonunu artırırken temel katyonlar (Ca, Mg ve K gibi)'in konsantrasyonlarının düşmesine neden olur (Guo and Zhang 2007). Bu nedenle arıtma çamuru uygulamasına ve uygulama dozuna karar verirken toprak pH'sı ve kireç düzeyi önemli bir toprak özelliğidir.

Orman ve Kaplan (2007) yeniden bitkilendirme üzerine ıslah edici etkilerini değerlendirmek için kükürt maden atıklarına değişen miktarlarda kireçli toprak (0, 300, 600, 900 ve 1200 g/saksı) ve ahır gübresi (0,36 g/saksı) ilave ederek kurdukları sera denemesinde; deneme bitkisi olarak Zea Mays L. (Mısır) kullanmışlardır. Araştırmacılar kükürt maden atıklarına kireçli toprak ilavesinin yetiştirme ortamının pH'ını arttırırken; elektriksel iletkenlik (EC) ve DTPA-ekstrakte edilebilir Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd

konsantrasyonlarını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca atığa kireçli toprak uygulamasına bağlı olarak mısır bitkisinin üst aksamında Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, Cd konsantrasyonlarının azalma gösterdiğini ve kuru ağırlığının (g/saksı) arttığını bildirmişlerdir. Çalışmada ağır gübresi uygulaması atığın DTPA-ekstrakte edilebilir Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, Cd; bitki üst aksamının ise Mn, Cu, Cd konsantrasyonlarını azaltmıştır. Araştırmacılar ayrıca kireçli toprak ve ahır gübresi interaksyonunun yetiştirme ortamının EC düzeyi ile Ni ve Cr konsantrasyonları için; bitki üst aksamının ise Cu konsantrasyonu için önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Kaplan vd (2005) toprak ıslah edici olarak kullanılan kükürt içeren endüstriyel bir atığın kireçli killi bir toprağa ve sorgum (*Sorghum bicolor* L.) bitkisine ağır metaller yönünden etkisini değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmalarında toprağa 0, 20, 40, 60, t/ha atık; 0.5, 1.0, 1.5 t/ha elementel kükürt ve 0.5 t/ha elementel kükürt + 20 t/ha atık uygulayarak bir saksı denemesi kurmuşlardır. Araştırmacılar kireç ve kil içeriği yüksek toprağa atık uygulamasının ağır metal (Ni, Cr, Co ve Cd) birikimi ve toksisitesi yaratmadığını; atığın yüksek miktarlarda uygulanmasından sonra bile sorgum bitkisinde önemli bir toksik element birikimi görülmediğini bildirmişlerdir. Ancak materyalin tekrarlı uygulanması ya da farklı bitkilerde kullanımı ile ilgili risklerin tespiti için yeni çalışmaların yapılmasını tavsiye etmişlerdir.

2.8. Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanımı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Sanchez-Martin vd (2007), yaptıkları çalışmada arıtma çamuruyla ıslah edilmiş toprağın zamana bağlı ağır metal konsantrasyonlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla kurdukları denemede 2 farklı kaynaktan elde edilen arıtma çamurunu, 2 farklı dozda (20-200 g.kg⁻¹) ve 2 farklı toprağa uygulayarak hazırlamış oldukları arıtma çamuru-toprak ortamlarını farklı inkübasyon zamanları sonunda analiz ederek ağır metal içeriklerini incelemişlerdir. İlerleyen zamana bağlı olarak ortamın organik madde içeriğinin azaldığını ve kimyasal kompozisyonun arttığını belirlemişlerdir. Bu artış yüksek doz uygulamalarında daha belirgin şekilde ortaya çıkmıştır. İncelenen her ağır metalin konsantrasyonları farklı toprak, farklı arıtma çamuru tipi, oranları ve değişen inkübasyon sürelerine göre farklı çıkmıştır. Öncelikle organik maddenin arttırılması için yapılan bu çalışmada toprağa uygulanan şehir ve tarımsal gıda endüstrisine ait arıtma çamurunun toprağa ağır metal nedenli bir kirlilik yaratması ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu bulunmuştur. Ancak bu çalışmanın toprağa art arda arıtma çamuru uygulanmasıyla toprakta birikebilecek metal miktarını ortaya koymak için yeterli olmadığına altını çizmişlerdir.

Angın ve Yağanoğlu (2012), kurak iklim koşullarında yetiştirilen arpa bitkisine uygulanan artan dozlarda arıtma çamurunun (0, 4, 8 ve 12 t da⁻¹) bitkinin verim, ürün parametreleri ve ağır metal alınımına etkilerini belirlemek amacıyla 2 yıl süreyle tarla denemesi yürütmüşlerdir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar kurak iklim koşullarında arıtma çamuru uygulamasının verim ve ürün parametrelerini iyileştirmenin etkili bir yolu olduğunu göstermiştir. Çalışmada en etkili uygulama dozu 12 t da⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulaması uygulanan tüm dozlarda danenin Na, K ve Ca içeriğini arttırdığı ancak bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı bulunmadığı bildirilmiştir. Bununla birlikte araştırmacılar tahıldaki Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Pb ve Cd konsantrasyonlarının arıtma çamuru uygulamasından etkilenmediğini tespit etmişlerdir. Toprağa arıtma çamuru uygulaması ile karşılaşılabilecek olumsuz etkileri en aza

indirmek için materyalin özellikleri ve kritik konsantrasyon değerleri dikkate alınması tavsiye edilmiştir. Arıtma çamurunun toprakta kullanılması ile bu materyal ekonomik olarak bertaraf edilmekle birlikte tarımsal üretimde verim artışı da sağlama potansiyelinin olduğu çalışmada bildirilmiştir. Ancak araştırmacılar elde edilecek sonuçların ekolojik koşullara ve bitki türüne sıkı sıkıya bağlı olduğunu da vurgulamaktadır. Arıtma çamurunun diğer bitki türleri ve ekolojik şartlar altında etkilerini değerlendirmek için çalışmaların sürdürülmesi tavsiye edilmektedir.

Kabir vd. (2011), çeltiğe artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması ile birlikte azalan dozlarda N uygulaması yaptıkları (SS₀-N₂₈₀, SS₆₀-N₄₉, SS₁₂₀-N₃₅, SS₂₀₀N₂₈ ve SS₃₀₀N₂₁) bir saksı denemesinde, verim ile ilgili parametreler ile danenin mineral madde konsantrasyonundaki değişimi incelemişlerdir. Bu kapsamda uygulanan arıtma çamuru dozları 0 t ha⁻¹'dan 300 t ha⁻¹'a kadar çıkarken; arıtma çamuru ile birlikte uygulanan azot dozu da 280 kg ha⁻¹'dan 0 t ha⁻¹'a kadar azaltılmıştır. Deneme sonunda bulgular değerlendirildiğinde verim özellikleri ile ilgili en yüksek değere SS₁₂₀-N₃₅ uygulamalarında rastlanmıştır. Ayrıca artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması danenin N, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn ve Pb içeriğini önemli düzeyde arttırdığı da belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının bir diğer etkisi de ham protein artışında gözlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının olmadığı konuya göre diğer uygulama konularında arıtma çamuru dozlarındaki artışa bağlı olarak ham protein içeriği artmıştır. Danede yapılan analizlerde Cr, Cd ve Ni konsantrasyonları cihazın ölçüm limitlerinin altında tespit edilmiştir. Araştırmacılar materyalin sahip olduğu yüksek besin içeriği ve düşük maliyeti ile tarımda sağlayabileceği avantajlara dikkat çekmiştir. Ancak özellikle sanayi kaynaklı arıtma çamurlarının kullanımı ile toprakta ve bitkide karşılaşılabilecek ağır metal riski konusunda da uyarılmışlardır.

Özyazıcı vd. (2012), arıtma çamuru uygulamalarının toprağın ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn ve Mn kapsamı üzerine etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada artan dozlarda arıtma çamuru ile birlikte kimyasal gübre uygulanmıştır. Deneme tesadüf blokları deneme deseni ve "buğday+beyaz baş lahana+domates" münavebe sistemi esas alınarak yürütülmüştür. Araştırma göstermiştir ki 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 t ha⁻¹ dozları şeklinde artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile toprağın ekstrakte edilebilir Fe, Cu ve Zn içeriklerinin arttığı, Mn kapsamında ise herhangi bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

Lakhdar vd. (2012), farklı özelliklerdeki arıtma çamurlarının makarnalık buğdayda fotosentetik aktivite üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada, toprağa 30 t da⁻¹'a kadar arıtma çamuru uygulaması yapmışlardır. Deneme sonuçları incelendiğinde en yüksek net fotosentez oranı ve en yüksek stoma iletkenliği değerlerine 10 t da⁻¹ kompostlanmış arıtma çamuru uygulamasında rastlanmıştır. Diğer yandan 20 ve 30 t da⁻¹ kompostlanmış ve kompostlanmamış arıtma çamuru uygulamalarında ise bitkide fark edilir şekilde Ni, Pb, Cu ve Zn birikimi gözlenmiştir. Bu uygulamalarda aynı zamanda düşük fotosentez aktivitesi de tespit edilmiştir. Araştırmacılar 10 t da⁻¹ arıtma çamuru uygulamasının makarnalık buğday yetiştiriciliği için uygun olduğunu belirtirken bu dozda tespit edilen ağır metal birikimlerinin kritik seviyeye ulaşmasından ötürü mevcut risklerin daha doğru değerlendirilebilmesi için uzun vadeli tarla denemelerinin yapılmasını tavsiye etmişlerdir.

Dalias (2012), yaptığı bir çalışmada yağışın sınırlı düştüğü üretim dönemlerinde toprağa arıtma çamuru uygulamasının buğday üretimi ve dane kalitesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Bilindiği gibi toprakta minerilizasyona etki eden en önemli faktörlerden biri de toprak nem düzeyidir. Optimum nem düzeyinin altındaki toprak şartlarında arıtma çamurunun minerilizasyonu yavaşlayacağı için ortaya çıkan bitki besin elementlerinin azalması beklenen bir durumdur. Deneme sonuçları göstermiştir ki sınırlı yağış nedeniyle arıtma çamurunun kurak şartlarda gerçekleşen minerilizasyonu bile ek gübrelemeye gerek kalmadan bitkinin besin içeriğini karşılamaya yetmiştir.

Angın ve Yağanoğlu (2011), rüzgâr erozyonuna uğramış toprakları restore etmenin basit ve etkili bir yolunu araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada organik madde ekleme yöntemini kullanmışlardır. Bu amaçla organik madde kaynağı olarak arıtma çamurunu seçmişlerdir. Arpa ekilen 12 parselde üç tekrarlı olarak rastgele blok tasarımı ile planlanan arazi denemesinde toprağa 0, 40, 80 ve 120 t/ha (kuru madde) dozlarında arıtma çamuru uygulamışlar ve uygulamanın etkisini 3 yıl süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonunda araştırmacılar arıtma çamuru uygulaması ile sadece toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmekle kalmadıklarını aynı zamanda arpa veriminde de bir miktar artış kaydettiklerini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, artan verimin yeterince yüksek olmadığı tatmin edici verim elde etmek için arıtma çamuru uygulamasının yıllık en az 40 ton/ha düzeyinde uygulanmasını tavsiye etmişlerdir.

Begum (2011), mısır yetiştiriciliğinde stabilize arıtma çamuru uygulamasının toprağın temel özellikleri ve mısır dane verimi ve kalitesi üzerine etkilerini belirlemek için yaptığı bir çalışmada arıtma çamuru ile birlikte kimyasal gübreler de değişen kombinasyonlarda uygulamıştır. Sonuçlar stabilize arıtma çamuru uygulamasının kontrole göre mahsul verimini arttırdığını göstermiştir. En yüksek iki arıtma çamuru dozu olan 80 ve 160 ton/ha uygulamalarında benzer şekilde en yüksek verim elde edilirken, kontrol ve en düşük iki arıtma çamuru dozu olan 20 ve 40 ton/ha uygulamalarında bitki büyüme ve gelişiminde benzer etkiler gözlenmiştir. Çalışma sonuçları göstermektedir ki artan arıtma çamuru dozları bitkide makro ve mikro elementler ile ağır metallerde kontrole göre artış sağlamıştır. Bununla birlikte arıtma çamuru uygulaması ile toprağın organik madde içeriği artarken pH, P, Ca ve Mg seviyelerinde düşme gözlenmiştir. Toprağa 40-60 ton ha⁻¹ arıtma çamuru ilavesinin mısır gelişimi için önerilen gübre oranına eşdeğer olduğu ifade edilmiştir. Araştırmacı uygulanacak daha yüksek arıtma çamuru dozlarının mısır büyümesini belki bir miktar daha arttırabileceğini ancak daha yüksek bitki ağır metal içeriğine sebep olma riskini de yaratabileceğini vurgulamıştır. Bitki ve toprak üzerinde minimum olumsuz etkiye neden olarak istenen agronomik faydayı sağlamak için siltli tın bünyeye sahip toprağa 40 ile 60 ton ha⁻¹ arıtma çamuru uygulanmasını tavsiye etmiştir.

Ailincai vd. (2009), artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının kanola ve soya fasulyesi verimine etkisini inceledikleri çalışmada uygulamaların toprağın kimyasal özellikleri üzerine yarattığı değişimi de incelemişlerdir. Arıtma çamuru mineral gübrelerle birlikte 20, 40 ve 60 t/ha dozlarında uygulanmıştır. Arıtma çamurunun 40 t/ha oranında kullanılması kanola bitkisinde % 63, soya fasulyesinde ise %65 verim artışı sağladığı görülmüştür. Toprakta ve bitki de yapılan ağır metal analizlerinde kritik değerlerin aşılmadığı saptanmıştır.

Topaç ve Başkaya (2008) yaptıkları araştırmada, evsel nitelikli arıtma çamurlarının bitki besin düzeylerini incelemişlerdir. Bu amaca yönelik olarak altı farklı kaynaktan alınan evsel nitelikli arıtma çamurlarında serbest-değişebilir K, bitkiye yarayışlı P, toplam N ve farklı mikrobiyal ayrışma direncine (yarayışlılık derecesine) sahip önemli organik N fraksiyonları belirlenmiştir. Elde edilen bulgular çamur örneklerinin N içeriği (% 3,5 ile % 6,2) yönünden topraklara önemli gübre etkisi yapabileceğini göstermiştir. Öte yandan, incelenen çamurların araziye uygulanması ile K ve P içeriği bakımından toprağa sağlayacağı katkının sınırlı olduğu görülmüştür. Araştırma sonuçları, arıtma çamurlarının N’lu gübre değerinin değerlendirilmesi için sadece toplam N içeriğinin belirlenmesinin yeterli kriter olmayacağını da ortaya koymaktadır. Kısa ve uzun vadede yarayışlı formlara dönüşebilecek organik azotu ifade eden hidrolize olabilir HO toplam organik N konsantrasyonlarının çamurdan çamura farklılık gösterdiği ve bu fraksiyonun çamurdaki toplam N’un %66 ile %81’ini oluşturduğu tespit edilmiştir. İncelenen çamurlardaki HO organik azotu oluşturan fraksiyonlar, HO toplam organik azot içindeki oranları itibarıyla, “amid azotu > tanımlanmayan azot > α -amino azotu > heksozamin azotu” şeklinde sıralanmaktadır.

Delibacak vd. (2009b), organik madde kaynağı olarak Xerofluvent bir toprağa arıtma çamuru uygulamasının bazı toprak özellikleri üzerine etkilerini belirlemeyi amaçladıkları bir çalışmada toprağa artan dozlarda 0, 30, 60 ve 90 t ha⁻¹ arıtma çamuru vermişlerdir. Bu çalışmanın amacı, organik madde (OM) kaynağı olarak arıtma çamuru (TSS) seviyelerinin tipik bir Xerofluvent toprağının bazı toprak özelliklerinin zamansal değişimleri üzerindeki etkilerini belirlemektir. Denemede ilk ürün olarak yer fıstığı ekilirken ikinci ürün olarak da arpa ve fiğ karışımı yetiştirilmiştir. Deneme süresince 5 farklı zamanda toprak örnekleme yapılarak, toprakta belirlenmesi hedeflenen parametrelerin zamana bağlı değişimi incelenmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki toprağa artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması ile toplam tuz, organik madde, toplam gözeneklilik, mikro gözeneklilik, makro gözeneklilik, tarla kapasitesi, solma noktası, mevcut su içeriği, strüktür stabilite indeksi ve toprağın agregat yüzde değerleri kontrole göre önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte toprağın tane yoğunluğu, kuru yığın yoğunluğu ve agregatlaşmamış silt-kil değeri ise kontrole göre azalmıştır. Öte yandan pH, kireç ve toprağın toplam silt + kil değerlerinde önemli ölçüde değişme gözlenmemiştir. Zamana bağlı olarak arıtma çamurunun toprakta ayrışması ile materyalin toprak özellikleri üzerindeki etkisinde özellikle son örnekleme dönemlerinde azalma gözlenmiştir. Bu nedenle düşük organik madde içeriği ile karakterize edilen tipik Xerofluvent toprakların özelliklerini iyileştirmek için 90 t ha⁻¹ arıtma çamurunun iki yılda bir eklenmesi önerilmiştir.

Çakır ve Çimrin (2018), evsel biyolojik arıtma tesisinden taze alınan arıtma çamuru uygulamasının tarımsal üretime etkilerinin incelendikleri bir çalışma kapsamında toprağa % 0, % 2.5, % 5, % 7.5 ve % 10 oranlarında arıtma çamuru karıştırılarak mısır bitkisi yetiştirmişlerdir. Daha sonra toprak ve bitki örnekleme yapılarak bir dizi analiz gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde artan dozda uygulanan arıtma çamurunun etkisiyle deneme toprağının N, P, K ve Ca içeriklerinde istatistiki açıdan önemli, Mg içeriklerinde ise önemsiz artışlar meydana geldiği görülmüştür. Uygulamalar mısır bitkisinin toplam yaş ve kuru verimini kontrole göre tüm uygulamalarda istatistiki açıdan önemli olarak arttırmıştır. Arıtma çamuru uygulamaları mısır bitkisi kök N, P, K, Ca ve Mg içerikleri üzerine etkileri istatistiki

olarak önemli bulunmuştur. Diğer yandan, artan dozda uygulanan arıtma çamuru mısır bitkisinin yeşil aksam N, P, K, Ca ve Mg içeriklerine istatistiki olarak önemli etkide bulunmuş olup, kontrole göre de önemli artışlar meydana geldiği saptanmıştır. Bu artışlar yeşil aksam N ve P içeriklerinde doğrusal olmuştur. Çalışmanın sonuç kısmında her ne kadar arıtma çamuru uygulamaları ile bitki besin elementlerinde genel bir iyileşme sağlansa da, artan arıtma çamuru uygulamaları ile bitki yaş veriminin arıtma çamurunun % 7.5' luk uygulamasında, bitki kuru veriminin ise arıtma çamurunun % 5' lik uygulamasında azalma eğilimine girdiğine dikkat çekilmiştir. Araştırmacılar kontrolsüz şekilde art arda arıtma çamuru uygulanmalarının zamanla toprakta ve bitkide ağır metal toksisite riski yaratabileceği konusunda uyarılmaktadır.

Bilgin vd. (2000), Orta Anadolu Bölgesinde sulu koşullarda buğday - şeker pancarı – fasulye rotasyonunda aerobik ve anaerobik çürütme ile kararlaştırılmış arıtma çamurlarının ticari gübre yerine kullanım olanaklarını araştırdıkları bir çalışmada; arıtma çamuru sadece rotasyonun ilk bitkisi olan buğdayda uygulanmış diğer iki ürünün yetiştirildiği yıllarda arıtma çamuru veya ticari gübre kullanılmamıştır. Araştırma sonuçlarına göre dekara 2 ton (kuru madde) arıtma çamurunun rotasyonda yer alan her üç bitkinin de N gereksinimini karşıladığı belirlenmiştir.

Pascual vd. (1997), farklı yapı ve organik madde stabilitesine sahip bazı şehir atıklarını (şehir katı atıkları, arıtma çamuru ve kompostlar) verimlilik ve fitotoksisite parametreleri açısından incelemişler ve arıtma çamurunun bütün atıklar içinde en yüksek N ve P içeriğine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Olgunlaştırılmış kompostlar, kompostlaşma süresince organik maddenin mineralizasyonu sonucu kayba uğrayarak en düşük organik C ve humik madde değerine sahip olmuştur. Heterojen yapılarına rağmen atıkların organik madde/total organik C %'si değişmemiş ve ortalama 2.05 olmuştur.

Yaman ve Olhan (2011), yaptıkları çalışmada buğday üretiminde arıtma çamuru uygulamanın ekonomik sonuçlarını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla Ankara'nın 3 farklı ilçesinde arıtma çamuru kullanan ve kullanmayan işletmelerden örnekler alıp, istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Sonuçlar arıtma çamuru uygulamasının buğday verimini %17.63, brüt karı %64.90 oranında arttırırken, üretim maliyetini ise %26.01 azaldığını göstermiştir.

Su vd. (2004), yaptıkları çalışmada rhizobag tekniği kullanılarak arıtma çamurundan metallerin salınımını incelemişlerdir. Bu kapsamda arıtma çamuru uygulanmış toprakta besin elementlerinin ve ağır metallerin rizosferdeki dağılımlarını incelenmiştir. Çalışma sonunda yonca bitkisinin rizosfer toprağındaki DTPA'da ekstrakte edilebilir Zn, Cd, Ni ve Mn ile yarıyışlı P, K, Ca ve NH_4^+ -N belirgin olarak azaldığını tespit edilmiştir. Bakır ile ilgili belirgin bir değişme gözlenmemiştir. Toprağa artan dozlarda arıtma çamuru uygulamasının DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe konsantrasyonunu arttırdığını tespit edilmiştir. Ayrıca toprağa yüksek miktarda arıtma çamuru uygulandığında rizosferdeki pH değerinin kökten uzaklaştıkça arttığı saptanmıştır.

Fauzia vd (2011), yaptıkları çalışmada asit karakterli tropik topraklara kırmızı alçıtaşı ve arıtma çamuru uygulamasının tarım topraklarına etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla toprağa %5 arıtma çamuru ve artan oranlarda (%5-2.5-5-10-20-40) kırmızı alçıtaşı uygulayarak hazırladıkları ortamlarda sera şartlarında mısır bitkisi

yetiştirmişlerdir. Kırmızı alçıtaşı uygulamasının toprağın pH'sını yükselttiğini böylece Zn konsantrasyonunun dengelendiğini tespit etmişlerdir. Ancak arıtma çamuru uygulaması ile toprağa verilen P ve K 'un bitki gelişimi için yetersiz kaldığını bildirmişlerdir. % 2.5 jips ve % 5 arıtma çamuru uygulaması kontrol ile kıyaslandığında kuru madde de azalmaya neden olmadığı görülmüştür. Mısır bitkisinin Zn, Cu ve Fe alınımı artan kırmızı alçıtaşı dozlarıyla düşmüştür. Bundan dolayı kırmızı alçı taşı ve arıtma çamurunun birlikte kullanımının bu yan ürünleri tek başına kullanmaya göre daha faydalı olduğunu belirtmişlerdir. Kırmızı alçı taşının aşırı uygulanması ile toprakta alkaliliğe neden olduğu tespit edildiği için bu iki materyalin birlikte uygulanabileceği optimum oranın %2.5 kırmızı alçı taşı + %5 arıtma çamuru olmasını tavsiye etmişlerdir.

Ortiz ve Alcaniz (2006) kireçli bir toprağa arıtma çamuru uyguladıkları bir çalışmada, kireçli topraklarda DTPA ekstraksiyon yönteminin toplam element analizi yöntemine göre metallerin biyolojik yararlanılabilirliğini belirlemek için daha az kullanışlı bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar yetiştirme ortamlarının DTPA ekstraksiyon yöntemi ile tespit ettikleri metal içeriklerinin yaprakların metal içerikleri ile olan korelasyon katsayılarının düşük olduğunu bildirmişlerdir.

2.9. Arıtma Çamurunun Çim Yetiştiriciliğinde Kullanım Olanağı

Artan kent nüfusu ile birlikte şehir alanları büyümüş; insanların doğal yaşam ile arasına mesafe girmiştir. Toplumsal refahı arttırmak için şehirlerimizde park ve bahçeler kamu ya da özel teşebbüs eli ile tesis edilmeye başlanmıştır. Bu alanlarda kullanılan çim bitkisi, bulunduğu ortama güzellik vermekte, yarattığı derinlik duygusu ve huzur ile göze ve ruha hitap etmektedir. Bu bitkinin insanlar üzerinde dinlendirici ve ferahlatıcı etkiye sahiptir (Salman 2008). Yarattığı bu etkiler ile çim alanlar, park ve bahçelerde vazgeçilmez öneme sahiptir (Varoğlu 2010). Genellikle *Graminea* familyasına dahil olan bitki veya bitki topluluklarının oluşturduğu bu alanlar toprak yüzeyini halı gibi örter ve devamlı biçilerek belli bir yükseklikte tutulmaya ihtiyaç duyarlar (Orçun 1979). Kentsel mekânlara estetik açıdan katkılarının yanı sıra spor müsabakaları için zemin olma işlevi de vardır. Ayrıca bu alanlar güneş ışığını kullanarak oksijen üretirken şehirlerin ısı dengesine de olumlu katkı sunarlar. Havada ki toz ve zararlı gazları emerek hava kirliliğine karşı doğal filtre görevi yapan çim alanlar yağmur ve kar sularının yüzey akışına geçip afete neden olmadan düzenli bir şekilde yeraltı sularına dahil olmasına da katkı sağlarlar (Beard ve Green 1994, Oral ve Açıkgoz, 2002).

Çim alan tesisinde toprak hazırlığının önemi büyüktür. Toprakta ve kullanılan materyallerde yabancı ot sorunu olmamalıdır. Toprak agregat yapısı ve havalanması iyi olmalıdır (Sabey vd. 1990). Ülkemizde çim sahalarda yanmış çiftlik gübresi ve torf gibi organik malzemeler toprak ıslahı için ya da kapak malzemesi olarak yaygın şekilde ve önemli miktarda kullanılmaktadır (Munsuz 1983). Yabancı ot sorunu olmayan kaliteli çiftlik gübre arzının son yıllarda talebi karşılamakta zorlanması bu materyali zor bulunan, pahalı bir tarımsal girdi durumuna getirmiştir. Tarımda kullanmak üzere organik materyallerin ve özellikle organik atıkların yeniden değerlendirilmesinin araştırılmasına olan ilgi artmaktadır (Gül 1997). Çim sahalarda en çok noksanlığına rastlanan bitki besin elementi N'dur. Çim yeterli ve sürekli şekilde azot gübrelemesine ihtiyaç duyar (Türemiş vd. 1996). Bu uygulamanın kök sürgün dengesini bozmayacak, yaprak büyümesini hızlandırarak sık biçime neden olmayacak ve yaşanan iklim ve çevre

şartlarıyla uyum sağlayacak düzeyde olması istenir (Avcıoğlu 1997). Bitki gelişimi, bitki sıklığı, renk, kendini yenileme, hastalık ve zararlılara dayanım gibi birçok konu bitkinin N beslenmesine doğrudan bağlıdır (Sincik 2004).

Son yıllarda çim sahalarda kullanılan N'un geri kazanılan organik atıklar ile sağlanması yaygınlaşmıştır. Bu organik atıklardan biri de arıtma çamurlarıdır. Yönetmelikte belirtilen ağır metal sınır değerlerini sağlayan ve gerekli stabilizasyon işlemlerinden geçmiş arıtma çamurları ziraat için uygun N kaynaklarıdır. Arıtma çamurunun ihtiva ettiği makro ve mikro besin elementleri bu atığa faydalı bir gübre; organik madde içeriği ise iyi bir toprak ıslah materyali özelliği vermektedir. Bu sebeple stabilize edilmiş arıtma çamurlarının zirai kullanımı desteklenmekte ve birçok ülkede yaygınlaşmaktadır (Strauch 1991, Düring ve Gäth 2002, Uzun ve Bilgili 2011).

Wang vd (2008), arıtma çamuru uygulamasının toprak ve çimde ağır metal konsantrasyonuna etkisini belirlemek amacıyla araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında Çin'in Kuzey Shenyang Atık Su Arıtma Tesisinden alınan arıtma çamuru toprağa artan dozlarda (0, 15, 30, 60, 120 ve 150 t ha⁻¹) uygulanmış ve *Zoysia japonica* çim türü yetiştirilmiştir. Araştırma sonuçları artan dozlarda arıtma çamuru uygulamasının toprağın organik madde ve besin elementi içeriğini artırdığını göstermiştir. Uygulama ile çim biyokütlesinde ve çimin arazide yeşil kaldığı sürede artış gözlenmiştir. Topraktaki ağır metal konsantrasyonları kontrole göre yüksek tespit edilmiştir. Çin çevresel kalite standardının toprak için belirlemiş olduğu Zn, Pb ve Cu için geçerli sınır değerler aşılmamış ancak Cd konsantrasyonu sınır değer üstünde kalmıştır. Araştırmacılar sınır değer üstünde tespit edilen Cd elementi nedeniyle söz konusu materyalin tarım alanlarında kullanılması halinde besin zinciri yoluyla Cd taşınımı riski olduğu için materyalin orman ve çim alanlarda rekreasyon amaçlı kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmişlerdir.

Ferrer vd (2011), yaptıkları çalışmada çim alan tesisinde arıtma çamuru uygulamasının toprakta ve bitkide neden olduğu değişimler ve hidroseeding tekniği ile çim alan tesisinde kullanım imkanını araştırmışlardır. Bu amaçla aldıkları altı farklı arıtma çamurunun her birini aynı dozlarda farklı parsellere hidroseeding tekniği ile birlikte uygulamışlardır. Kontrol parseline arıtma çamuru uygulaması yapılmamış sadece aynı yöntem ile tohum atılmıştır. Deneme alanından alınan örneklerin bitki besin elementi ve ağır metal içerikleri laboratuvarında analiz edilmiştir. Ayrıca vejetasyonun kaplama oranı pikselleştirme tekniği ile belirlenmiştir. Sonuçlar arıtma çamurunun çim alan tesisinde organik tamamlayıcı olarak olumlu rol üstlendiğini göstermiştir. Ayrıca arıtma çamuru uygulamasının toprağın bitki besleme kabiliyetini arttırırken hiç bir arıtma çamurunun ağır metal riskine de neden olamadığı tespit edilmiştir. Hidroseeding tekniği ile beraber arıtma çamuru uygulanabilmesi de uygulama maliyeti düşürmüştür. Uygulamadan iki yıl sonra yapılan analizler göstermiştir ki toprağın fulvik ve humik asid ve organik karbon içerikleri ilk örnekleme göre ciddi oranda azalmıştır. Bu veriler toprak organizmalarının ve bitki köklerinin materyalden etkin olarak yararlanabildiğine işaret etmiştir.

Lane (1988) tarafından yapılan bir çalışmada bermuda çimine (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. Cv. 'Alicia') arıtma çamuru uygulamasının yem kalitesi ve bitkide ağır metal birikimi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda kimyasal gübre ve arıtma çamuru kaynaklı N-P-K sırasıyla 0-0-0, 18-7.8-2, 36-15.6-4 ve 54-23.4-6 kg da⁻¹ olacak

şekilde parsellere üstten uygulanmıştır. Elde edilen kuru madde üretim ortalamaları besin kaynağından bağımsız olarak mevsime göre değerlendirildiğinde sonuçların benzer olduğu görülmüştür. Ancak daha yüksek uygulama dozlarında genellikle daha yüksek verim elde edilmiştir. Arıtma çamuru uygulamalarının yalnızca 36-15.6-4 kg da⁻¹ uygulamalarında kimyasal gübreye göre daha yüksek ham protein değerine rastlanmıştır. Arıtma çamuru uygulamalarının tamamında elde edilen bitkide çinko içeriği birbiriyle aynı tespit edilmiştir. En yüksek krom konsantrasyonuna 36-15.6-4 kg da⁻¹ arıtma çamuru uygulama dozlarında rastlanırken en düşük krom konsantrasyonunda en yüksek kimyasal gübre uygulaması olan 54-23.4-6 kg da⁻¹ da rastlanmıştır. Bitki kurşun konsantrasyonlarının ise uygulama materyalinden etkilenmediği görülmüştür. Bitkinin bakır konsantrasyonunun ise arıtma çamuru uygulamalarında aynı doz kimyasal gübre uygulamasına göre iki kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Denemede elde edilen bitki materyallerinden hiç birinin bu bitkiler ile beslenecek hayvanlar için ağır metal riski yaratmadığı belirlenmiştir.

Mota vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada *Zoysia çimi* (*Zoysia japonica*) ile yapılan rulo çim üretiminde kompostlanmış arıtma çamurunun üre bazlı gübrelemenin kısmen veya tamamen yerine geçip geçemeyeceği değerlendirilmiştir. Geleneksel gübre (üre) dozu 30 kg da⁻¹ N'a ve arıtma çamuru dozları 10, 20, 30 ve 40 kg da⁻¹ N'a karşılık gelecek şekilde uygulanmıştır. Çim üretimini değerlendirmede üç yöntem kullanılmıştır: toprağı örtme oranı, yeşil renk yoğunluğu ve yaprak analizidir. Denemede 30 kg da⁻¹ N'a karşılık gelen arıtma çamuru uygulamasının rulo çim üretimi için en uygun uygulama olduğu bildirilmiştir. Ayrıca arıtma çamuru kullanımının rulo çim üretiminde faydalı etkileri olduğu ve üre uygulamasının yerini alabileceği bildirilmiştir.

Griffith vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) çim türü kullanılarak rulo çim üretiminde, gübreye alternatif olarak biyokatı kullanımını araştırmışlardır. Bu sayede tarımsal alanda biyokatı kullanımı ile kimyasal gübre uygulamalarına olan ihtiyacı azaltma veya ortadan kaldırmayı hedeflemişlerdir. Çalışma sonunda araştırmacılar biyokatı kullanarak rulo çim üretiminin Wisconsin'deki mevcut agronomik hedefleri karşılama geleneksel gübre uygulamalarının yerini alabileceğini veya en azından rulo çim üretiminde biyo katı kullanımının kimyasal gübrelemeyi tamamlama potansiyeline sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Bilgili vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada atıksu arıtma çamuru uygulama oranının ve zamanlamasının %50 perennial ryegrass (*Lolium perenne* L., cv. Esquire), %30 kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L., cv. Conni), %10 Chewings fescue (*Festuca rubra* spp. *commutata* Gaud., cv. Juliska), ve %10 creeping red fescue (*Festuca rubra* spp. *rubra* L., cv. Diego) dan oluşan çim karışımının renk, kalite ve biçme verimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada uygulamaların oranı ve zamanlamasının çim rengini, kalitesini ve kırma verimini etkilediği tespit edilmiştir. Düzenli yapılan aylık gübrelemenin, ilkbahar ve sonbahara denk gelen dönemsel gübrelemeye göre daha uniform renk ve çim kalitesi elde edilmesini sağladığı görülmüştür. Ayrıca arıtma çamuru uygulamalarının toprakta ağır metal birikimine neden olmadığı bildirilmiştir. Çalışmadan elde edilen bir başka sonuçta arıtma çamuru uygulamalarından alınan örneklerde dahil olmak üzere toprakta fecal coliform bakterisi tespit edilmemiş olmasıdır. Bu durum çalışma dönemi boyunca arıtma çamuru kaynaklı fecal coliform bakterisi üremesinin gerçekleşmediğini göstermesi açısından önemli bulunmuştur.

Backes vd. (2013) yaptıkları çalışmada çim üretiminde azot gübrelemesinin önemine dikkat çekmişler ve arıtma çamurunun özellikle yavaş salınım özelliği nedeniyle çimde azot beslenmesi için kullanılan kimyasal gübreyi ikame etme imkanını araştırmışlardır. Bu amaçla zoysia çimi (*Zoysia japonica*) ile yaptıkları rulo çim üretiminde farklı dozlarda arıtma çamuru (kuru halde 0, 1.2, 2.4, 3.6 ve 4.8 ton da⁻¹) ve inorganik gübre uygulaması (30 kg da⁻¹ N, 8 kg da⁻¹ P₂O₅, and 20 kg da⁻¹ K₂O) yaparak gerçekleştirdikleri çalışmada arıtma çamurunda bulunan organik bileşiklerin farklı mineralizasyon hızları olduğunu tespit etmişlerdir. Toprağa arıtma çamuru uygulamasından 120 gün sonra S (% 57), P (% 40) ve Ca (% 31) den fazlası Mg (% 100), K (% 90) ve N (% 67) oranında salındığını bildirmişlerdir. Ayrıca toprağa 3.6 ton da⁻¹'den daha yüksek miktarda uygulanan arıtma çamuru ile zoysia çimine yeterli düzeyde besin sağlandığını bildirmişlerdir. Rulo çim kesiminden sonra arıtma çamuru uygulamaları ile potansiyel toprak asiditesinde, toprağın organik madde, P, S, Fe, Cu, Mn, Zn, Cu ve Ni içeriğinde doğrusal bir artış sağlanmakla birlikte toprağın pH, Ca, Mg ve bazı doyumluk yüzdesinde doğrusal bir düşüş tespit etmişlerdir. Ayrıca arıtma çamuru uygulamasının 0 ton da⁻¹'den 4.8 ton da⁻¹'e çıkması ile rulo çim birim ağırlığında düşüş sağlandığı ve en düşük birim rulo çim ağırlığının 4 kg sod⁻¹ olarak kaydettiklerini bildirmişlerdir. Bununla birlikte yüksek arıtma çamuru uygulama dozları ile (sırasıyla 3.6 ton da⁻¹ ve 4.8 ton da⁻¹) rulo çim direncinde en yüksek değerlere (sırasıyla 35 ve 33 kgf) ulaştıklarını açıklamışlardır.

3. MATERİYAL VE METOD

Bu bölümde denemenin kurulduğu arazinin iklim ve toprak özellikleri, denemede kullanılan materyaller ve laboratuvar çalışmalarında uygulanan yöntemlerle ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Denemenin kurulduğu alanın iklim özellikleri

Deneme alanı, Akdeniz iklim bölgesinin özelliklerini taşıyan Antalya ilinde kurulmuştur. Bu iklimde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Antalya Devlet Meteoroloji İşleri Bölge Müdürlüğü'nün 1997-2018 yıllarına ait gözlemlerini kapsayan verilerine bakıldığında Antalya'da yıllık ortalama sıcaklık 19.8 °C, en soğuk ay 11.3 °C ile ocak ayı ve en sıcak ay ise 29.5 °C ile Ağustos ayıdır. Yıllık ortalama bağıl nem % 60.9, ortalama rüzgar hızı 1.99 m/s, ortalama toplam yağış 870.5 mm ve ortalama toplam buharlaşma 1521.2 mm'dir. Uzun yıllara ait ortalama iklimsel veriler Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Antalya ilinin 1997-2018 yıllarına ait bazı meteorolojik verileri (Anonim 2019)

Aylar	Antalya İli İklim Verileri Ortalamaları (1997-2018)				
	İklimsel Parametreler				
	Ortalama Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Yağış (mm)	Buharlaşma (mm)
Ocak	11.3	61.6	2.3	188.7	51.9
Şubat	12.4	63.4	2.3	107.0	56.3
Mart	13.3	64.2	2.1	84.4	127.1
Nisan	16.6	67.0	2.1	80.4	147.0
Mayıs	21.1	66.5	2.0	46.4	204.8
Haziran	26.0	58.7	2.0	8.6	276.6
Temmuz	29.0	60.1	1.8	0.5	152.9
Ağustos	29.5	59.8	1.7	9.8	155.6
Eylül	26.4	58.3	1.9	44.9	128.9
Ekim	22.0	55.3	1.9	90.6	95.6
Kasım	17.5	56.5	1.8	66.2	70.2
Aralık	13.1	60.0	2.0	143.0	54.3

3.1.2. Denemenin kurulduğu alan ve toprak özellikleri

Tarla denemesi Akdeniz Üniversitesi Kampüs alanı içerisinde yer alan Araştırma Uygulama Çiftliği'nde projeye tahsis edilen arazide gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü arazinin yerini gösteren uydu görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmanın yürütüldüğü alanın uydu görüntüsü (Google Earth 2018)

Deneme alanının toprak özellikleri; Akdeniz Üniversitesi Kampüs alanında yapılan detaylı temel toprak etüdü ve ideal arazi kullanım planlaması çalışmaları kapsamında özetlenmiştir (Sarı vd. 1993). Çalışmaya göre deneme alanı Pınarbaşı serisi toprakları içerisinde yer almaktadır. Pınarbaşı serisi topraklarında bütün profil kil tekstürlüdür. Profil içerisinde derinlemesine belirgin kireç hareketi olup, derinlikle birlikte kirecin miktarı da artmaktadır. Ancak kireç hareketi, serbest karbonatların profilden tamamen yıkanmasına yetecek düzeyde değildir. Seri topraklarının bütün horizonlarında toprak rengi koyu kırmızımsı kahverengidir. Pınarbaşı serisi topraklarında organik madde % 1.0-2.5, kireç içeriği % 8-49 ve pH değerleri de 7.5-7.9 arasında değişmektedir. Katyon değişim kapasitesi 28-37 me $100g^{-1}$ arasındadır. Profildeki kil miktarı % 34-57 arasında değişmektedir. Değişim komplekslerinde yer alan başat elementler Ca ve Mg'dur. Profildeki baskın kil tipi önce kaolinit sonra smektit olarak dağılım göstermektedir. Potansiyel üretkenlik ve verimlilik açısından Pınarbaşı serisi topraklarında bitkiye yarayışlı fosfor miktarı yetersiz, yarayışlı potasyum miktarı yüksek ve organik madde miktarı genellikle düşük veya orta düzeydedir.

Deneme arazisinin toprak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneme kurulmadan önce alanı temsil edecek şekilde 0-30 cm derinlikten toprak burgusu ile örnek alınarak bu toprak numunesinde fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Söz konusu analiz sonuçları Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneme toprağı, arıtma çamuru ve sertifikalandırılmış materyallerin analiz sonuçları

Parametre	Arıtma Çamuru (AÇ)	Deneme Toprağı	Sertifikalandırılmış Killi Tın Toprak Materyali (RTC CRM052)		Sertifikalandırılmış Arıtma Çamuru Materyali (CRM029-50G)		Sertifikalandırılmış Bitki Materyali (Peach Leaves) (CRM-1547)						
			Referans Aralığı	Okunan Değer	Referans Aralığı	Okunan Değer	Referans Değeri	Okunan Değer					
pH	6.75	7.45	-	-	-	-	-	-					
E.C. ds m ⁻¹	4.50	0.25	-	-	-	-	-	-					
% CaCO ₃	6.70	46	-	-	-	-	-	-					
Tekstür	-	Killi Tın	-	-	-	-	-	-					
% Organik Madde	73.60	1.66	-	-	-	-	-	-					
Toplam	%N	0.10	-	-	3.97±0.56	3.26	2.94±0.12	2.81					
	P mg kg ⁻¹	25380	825	168± 30.7	110.71	21100±2600	16200	1370±70					
	K mg kg ⁻¹	4955	2033	2390 ±76.2	1982	3540±290	3387	24300±300					
	Ca mg kg ⁻¹	55670	132120	2860±118	2357	51600±1650	53760	15600±200					
	Mg mg kg ⁻¹	6703	3069	1690±74.8	1731	10400±395	10582	4320±80					
	Na mg kg ⁻¹	1318	189	319 ±17.2	281	1310±384	983	24±2					
	Fe mg kg ⁻¹	5870	53320	14700±632	12880	23200±1460	21190	218±14					
	Zn mg kg ⁻¹	2330	53.16	94.3± 2.95	89.94	833±40	812	17.9±0.4					
	Mn mg kg ⁻¹	456	420	217 ±11.8	193	756±56.8	645	98±3					
	Cu mg kg ⁻¹	181	92.30	56.5 ± 1.60	48.17	716±37.7	672	3.7±0.4					
Ni mg kg ⁻¹	32.12	69.73	50.8 ± 1.42	52.33	373±24.8	347	0.69±0.1						
Cr mg kg ⁻¹	38.26	47.77	57.8 ± 1.98	51.67	129±3.69	117	-						
Pb mg kg ⁻¹	16.70	2.23	82.9 ± 2.52	89.05	192±13.9	201	0.87±0.03						
Cd mg kg ⁻¹	0.92	1.01	43 ± 1.16	53.25	142±7.54	147	0.026±0.003						
Deneme Toprağında Bitkiye Yaratışlı Element Sonuçları (mg kg ⁻¹)													
Alınabilir	Değişebilir		DTPA- Ekstrakte Edilebilir										
	K	244.1	Mg	134.4	Fe	4.26	Mn	18.03	Pb	1.68	Cd	0.006	
P	58.02	Ca	4880	Na	12.12	Zn	1.78	Cu	1.38	Ni	0.43	Cr	0.134

3.1.3. Arıtma çamuru

Denemede, Antalya Hurma İleri Atık Su Arıtma Tesisinden temin edilen stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru kullanılmıştır. Hurma Atık Su Arıtma Tesisi Antalya-Kemer karayolu 16. km'sinde, Tünektepe yolu üzerinde kıyı şeridinden 2600 m uzaklıkta kurulmuştur. Arıtma çamurunun temin edildiği tesis ile ilgili görsel Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Arıtma çamurunun temin edildiği Antalya Hurma Atık Su Arıtma Tesis

Tesisin ilk kademesi 1999 yılında tamamlanmıştır. Bu hali ile atık su arıtma ünitesinin 250000 kişiye hizmet etmesi planlanmıştır. 2005 yılında tamamlanan II. kademe inşaatı ile tesis 500000 nüfusa hizmet edecek kapasiteye çıkartılmıştır. 2011 yılı Nisan ayında tamamlanan III. kademe inşaat kapsamında 210000 m³/gün kapasiteye ulaşmış ve 1400000 kişilik nüfusa hizmet vermektedir (Anonim 2019). Tesiste atık su arıtma işlemlerinin sonunda çürütülmüş, yoğunlaştırılmış, stabilize edilmiş, susuzlaştırılmış ve kurutulmuş arıtma çamurlarından denemelerde kullanılmak üzere temin edilmiştir. Alınan arıtma çamuru % 92-96 kurulukta olup tesiste granül forma getirilmiş olarak ağırlığı yaklaşık 800–1000 kg arasında değişen big bag adı verilen çuvallarda muhafaza edilmektedir. Çalışma için ihtiyaç duyulan stabilize edilip kurutulmuş arıtma çamuru resmi başvuru ile ilgili tesisten 13.06.2017 tarihinde temin edilmiştir (Şekil 3.3). Sadece Hurma İleri Atık Su Arıtma Tesisinde bu şekilde günlük olarak yaklaşık 20-30 ton kurutulup granül hale getirilmiş arıtma çamuru üretilmektedir. Çalışmada kullanılan arıtma çamurunun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gelen materyalden örnek alınıp analize tabi tutulmuştur. Söz konusu analiz sonuçları Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir. Denemede kullanılan arıtma çamuru Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Arıtma çamurunun araziye indirilişi



Şekil 3.4. Arıtma çamurunun genel görünüşü

3.1.4. Kum

Çim alan tesis aşamasında toprağa bermuda çimi stolonları serilmiştir. Stolonların gelişimini teşvik etmek için üstlerine ince bir katman oluşturacak şekilde ve her parselde eşit miktarda kum uygulaması yapılmıştır. Bu amaçla rulo çim üretiminde sıklıkla tercih edilen, sıfır numara dere kumu olarak bilinen materyal denemede kullanılmıştır.

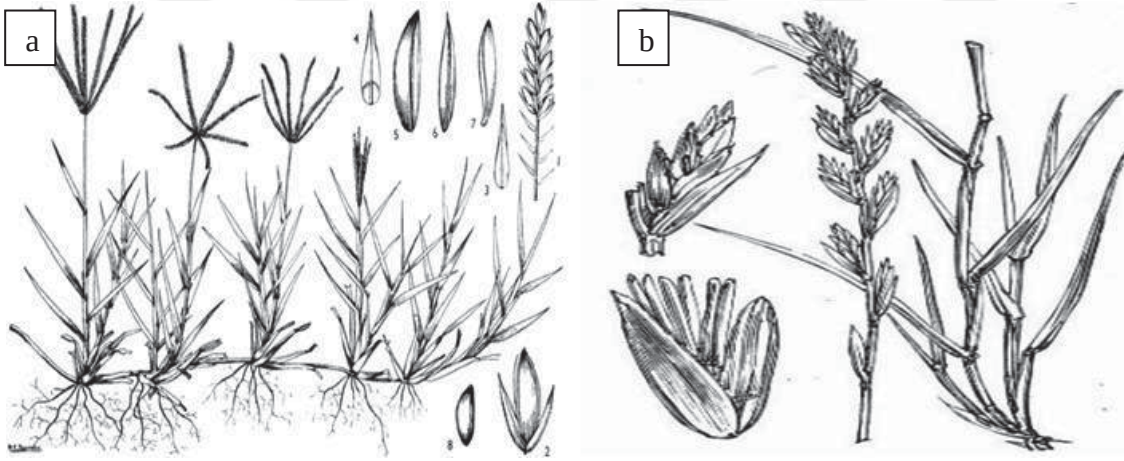
3.1.5. Kimyasal gübreler

Çalışma arıtma çamurunun hazır rulo çim üretiminde artan dozlarda; tek başına ve kimyasal gübreler ile birlikte kullanılmasını kapsadığı için araştırmada sadece arıtma çamuru uygulamasının yapıldığı parseller olduğu gibi arıtma çamuru ve kimyasal gübrenin birlikte uygulandığı parseller de mevcuttur. Bu sebeple deneme kapsamında sadece arıtma çamurunun uygulandığı yirmi parselde ek olarak yirmi parselde de arıtma çamuru ve kimyasal gübrelerin birlikte uygulandığı parseller tesis edilmiştir. Kimyasal gübre uygulaması yapılan bu parsellerde 15.15.15 kompoze (% 15 N, %15 P₂O₅, %15

K₂O) ve amonyum sülfat (%21 N, %24 S) gübreleri planlanan uygulama dönemlerinde ve belirlenen dozlarda kullanılmıştır.

3.1.6. Bitki materyalleri

Çim alan tesisi için çeşit seçiminde; alanın kullanım amacı, ekolojisi, bakım imkan ve maliyetleri gibi faktörler göz önünde bulundurularak (Erdem 1993) bitki materyali olarak iki çim çeşidi seçilmiştir. Bunlardan biri Antalya bölgesinde yaz aylarında yeşil alan oluşturmada başarıyla kullanılan, hızlı gelişen ve çok yıllık bir sıcak iklim çimi olan hibrit bermuda (*Cynodon dactylon* x *C. transvaalensis*) ‘Tifway’ çimidir (Baysal ve Karagüzel 2005). Diğeri ise ılıman ve sıcak iklimler için hazırlanan karışımlarda tercih edilen özellikle Bermuda çimi üstüne ekimlerde iyi performans gösteren İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) çimidir. Üst ekim uygulamalarında (overseeding) bermuda çimi üstüne sonradan ekilen *Lolium* sonbahar-kış döneminde yeşil görüntüsünü muhafaza ettiği ve basılmaya dayanıklı olduğu için bölgede yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 3.5. Bitki materyalleri a) Bermuda çimi (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) b) Lolium çimi (*Lolium perenne* L.)

3.1.6.1 Bermuda çimi

Younger (1959) tarafından bildirildiğine göre serin iklim bölgesinde yeşil alan tesisinde tercih edilebilecek çok sayıda buğdaygil bitkisi olmasına karşılık sıcak iklimde yapılacak tercih daha kısıtlıdır. Araştırmacı sıcak iklimde *Cynodon dactylon* L. (Bermuda Çimi) ve *Cynodon transvaalensis*'in (Uganda Çimi) en başarılı türler olduğunu belirtmiştir. Araştırmada bitkisel materyal olarak hibrit bermuda çimi (*Cynodon dactylon* x *C. transvaalensis*) ‘Tifway’ çeşidi kullanılmıştır.

Kirli ve sorunlu alanlarda çevre kalitesini arttırmak için de kullanılan *Cynodon dactylon* türü (Skerman ve Riveros, 1990); olumsuz çevre koşuluna dayanıklılığı ile yaygın olarak tercih edilmektedir (Şekil 3.5.a.). Çok yıllık olan tür rizom ve stolonlarıyla gelişir, ortalama 9–40 cm boylanır. Yaprak ayası 2.5–20 cm uzunluk ve 2–6 mm genişlikte, yapraklar kılıç şeklinde ve uçları sivridir. Çiçek sapı üzerinde başakları 3–7 parçalı parmağa benzer ve tek bir noktadan çıkar. Her bir parça 2.5–8 cm uzunluktadır, her bir çiçek başağı iki parçalı ve mızrak şeklindedir. Her başakçıkta bir

adet çiçek vardır. Tohumları çok ince ve kahve renklidir. Drenajı iyi, bol gübreli, orta bünyeli topraklarda hızlı gelişir. Diğer taraftan ağır bünyeli topraklar ile kumlu kıyı kesiminde, alkali topraklarda ve pH'sı 5.5 olan asit topraklarda da yetişebilir. Yazın kuraklığa çok dayanıklıdır, sıcaklığı ve güneşi sever. Uzun ömürlü ve dayanıklı yapısıyla gösterişli çim yüzeyler yapar. Üretimi tohum ve stolonlardır. Ancak bizim kullandığımız hibrit bermuda çimi kısır olduğu için stolon ile üretilir. Ekim veya dikim için geç ilkbahar ya da erken yaz ayları en uygun zamanlardır (Uzun 1989). Afrika kökenli bir türdür. Derine giden yoğun saçak kök yapısına sahiptir. Kısa (derin) biçime oldukça toleranslıdır. Yol kenarlarında, park alanlarında, okul bahçelerinde, spor sahalarında ve golf sahalarında kullanılır. Soğuğa ve gölgeye karşı toleransları düşüktür (Turgeon 2008).

3.1.6.2. İngiliz çimi (*Lolium perenne*)

Buğdaygil bitkisi olan İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) serin iklim çim türleri içerisinde ve çok yıllıktır (Şekil 3.5.b.). Asya'nın ılıman kuşağı ile Kuzey Afrika doğal yayılım alanıdır. Kısa sürede çimlenip yeşil örtü oluşturması ve tohum temininin kolaylığı İngiliz çimine dünya genelinde yaygın kullanım olanağı sağlamıştır. Ülkemizde de her türlü yeşil alanda saf ya da diğer türler ile birlikte kullanımı oldukça yaygındır (Avcıoğlu vd. 1996, Gül ve Avcıoğlu 1997, Kün 1983). Kuzey ve Güney Amerika, Avusturalya ve Yeni Zelanda'ya götürülmüş olup, buralarda çığnenen yerlerde, yol kenarlarında yabancı olarak yetişir. Kuvvetli kardeşlenen yumak şeklinde bir yapıya sahiptir. Sap uzunluğu 10-90 cm arasında olup ortalama 40-70 cm'dir. Yaprakları çıplak, tüysüz, üst yüzü çizgi şeklinde çıkıntılı, alt yüzü ise düz ve parlaktır. Yaprak ucu sivri ve yaprak dizilişleri yassıdır. Yapraklarının alt kısmı parlaktır. Yaprak damarları yaprağın üst yüzeyinde belirgindir. Salkım şeklinde gelişme gösterir. Kısa kulakçıkları ve zarımsı dalcikleri vardır. Çimlenme hızı yüksek olduğu için zarar görmüş çim alanların kısa sürede kapatılmasında sıklıkla tercih edilir. Basılmaya direnci yüksek bir çeşittir. Bu özelliği ile spor sahalarında yaygın kullanılır (Christian 2004).

3.2. Metod

Tarla denemesi Akdeniz Üniversitesi Kampüs alanı içerisinde yer alan Araştırma Uygulama Çiftliği'nde projeye tahsis edilen arazide gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6.).

3.2.1. Deneme arazisinin ön hazırlığının yapılması

Projenin arazi denemelerinin gerçekleştirilmesi için Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Çiftliği arazisinde yer tahsis edilmiştir. Bu arazi daha önce tarım dahil hiçbir beşeri faaliyette kullanılmamış bakir bir alandı (Şekil 3.6.). Bu durum önceki tarımsal üretim dönemlerinin denemede oluşturabileceği hata faktörü riskini ortadan kaldırdığı için tercih edilmiştir. Ancak arazi hiç işlenmediği için başlangıçtaki fiziksel şartları tarımsal faaliyet yürütmeye uygun değildi. Bu sebeple deneme kurulumuna geçmeden önce birkaç defa üst üste toprak işlenmesi yapılarak arazinin fiziksel şartlarının bitkisel üretime uygun hale getirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca üretimi olumsuz etkileyebilecek bir diğer riskinde yabancı ot yoğunluğu olduğu fark edilmiştir. Özellikle halk arasında topalak (*Cyperus Rotundus* L.) olarak bilinen yabancı otun kısa sürede araziye kaplama eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 3.7.). Arazideki yabancı ot varlığı ile kapsamlı bir mücadeleye girişilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda

tarım makine ve aletleri kullanılarak toprak işleme yolu ile yabancı ot mücadelesi yapıldığı gibi arazi henüz boş iken bu yöntemlere ek olarak uygun herbisitlerde kullanılmıştır (Şekil 3.8.). Herbisit uygulamaları yaparken daha sonra yapılacak rulo çim yetiştiriciliğine olumsuz etkide bulunmaması için etkili madde, kullanım dozu ve bekleme süresi gibi kriterler dikkate alınmıştır. Çim üretim dönemi boyunca da yabancı otlar elle köklenerek araziden uzaklaştırılmıştır.



Şekil 3.6. Deneme arazisinin çalışma öncesi genel görünümü



Şekil 3.7. Deneme arazisinin tekrarlayan yabancı ot sorunu



Şekil 3.8. Deneme alanında herbist uygulaması ile yabancı ot mücadelesi

3.2.2. Denemenin kurulması

Arazide ön hazırlıklar tamamlandıktan sonra deneme alanının ve müstakil parsellerin sınırlarını belirlemek için arazi ölçülmüş, ip çekilmiş ve kazık çakılarak parsellere bölünmüştür (Şekil 3.9.). Çalışma tesadüf blokları deneme deseninde 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Deneme alanı, artan dozlarda 5 farklı arıtma çamuru uygulaması (AC_0 , AC_2 , AC_4 , AC_6 , AC_8); 2 farklı kimyasal gübre uygulaması (KGØ, KG+); 4 tekerrür olmak üzere toplam 40 parselden oluşmuştur. Her parsel 3 m uzunluğa 2 m enine sahip olup böylece 6 m²'lik parsel alanı elde edilmiştir. Ayrıca uygulamalar arası etkileşimin minimize edilmesi amacıyla blok üzeri 20 cm, bloklar arasında ise 40 cm olacak şekilde parseller arasında mesafe bırakılmıştır. Rulo çim üretim alanı yan yürüme yolları ile birlikte yaklaşık 350 m²'lik bir alanı kapsamıştır. Deneme sahasının eşit ve kontrolü sulanabilmesi için parsellerin arasından ve toprağın altından geçirilen borular yardımı ile mini sprink yağmurlama sulama sistemi kurulmuştur. Ayrıca arazide yoğun bir yüzey taşlılığı olduğu fark edilmiştir. Bu durum hem rulo çim üretimine olumsuz etki yapabileceği hem de arazide kullanılacak ekipmana zarar verebileceği için tırmık kullanılarak parsellerin yüzey taşlılığı tolere edilebilir sınırlara indirilmiştir (Şekil 3.10.). Hurma ileri atık su arıtma tesisinden temin edilen stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru deneme konularına uygun olarak (0, 2, 4, 6, 8 ton da⁻¹) tartılmış, parsellere homojen olarak yayılmıştır (Şekil 3.11.). Arıtma çamuru uygulama dozları daha önce gerçekleştirdiğimiz araştırmanın sonuçları (Ok 2012) ve literatür taraması göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Backes 2013). Daha sonra uygulanan arıtma çamuru bel toprak işleme aleti kullanılarak homojen bir şekilde toprağa karışması sağlanmıştır. Toprağa uygulanan arıtma çamurunun su ve diğer faktörlerin etkisi ile parçalanıp ayrışmaya başlaması için arazi üç hafta süre ile düzenli ve eşit bir şekilde sulanarak inkübasyona bırakılmıştır (Şekil 3.12.). İnkübasyon işlemi 20.06.2017 tarihinde başlatılmış ve 11.07.2017 tarihinde sonlandırılmıştır. Deneme süresince toprak nem içeriği takip edilerek ihtiyaç görüldüğü takdirde her parsel eşit bir şekilde sulanmıştır. Arıtma çamuruna ait deneme konuları kimyasal gübreli ve kimyasal gübresiz olmak üzere iki gruptan oluşmuştur.



Şekil 3.9. Deneme alanında parsellerin oluşturulması



Şekil 3.10. Tırmık çekilerek yüzey taşlarının parsellerden uzaklaştırılması



Şekil 3.11. Tartılıp parsellere dağıtılan arıtma çamuru uygulamaları



Şekil 3.12. Parsellerin inkübasyon süreci

3.2.3. Deneme konuları

Arıtma Çamuru (AÇ)

0 ton da⁻¹ (AÇ₀)

2 ton da⁻¹ (AÇ₂)

4 ton da⁻¹ (AÇ₄)

6 ton da⁻¹ (AÇ₆)

8 ton da⁻¹ (AÇ₈)

Kimyasal Gübre (KG)

KGØ (Kimyasal Gübre Uygulanmamış)

KG+ (Kimyasal Gübre Uygulanmış)

Çalışma arıtma çamurunun hazır rulo çim üretiminde artan dozlarda (0, 2, 4, 6, 8 ton da⁻¹) tek başına ve kimyasal gübre ile birlikte uygulandığı konuları kapsamaktadır. Denemede kimyasal gübre uygulaması yapılmayan yirmi parsel; arıtma çamuru uygulama dozunu gösterir işaretleme ile birlikte etikete KGØ ibaresi eklenerek belirtilmiştir. Kimyasal gübre uygulaması yapılan diğer 20 parsel de arıtma çamuru uygulama dozunu gösterir işaretlemeye ek olarak; etikete KG+ ibaresi eklenerek gösterilmiştir. KG+ şeklinde belirtilen yirmi parselde yapılan kimyasal gübre uygulamaları ve zamanları şöyledir: 25 kg da⁻¹ 15.15.15 (% 15 N, %15 P₂O₅, %15 K₂O) kompoze gübre stolon dikiminden hemen önce (11.07.2017) ve stolon dikiminden iki ay sonra (11.09.2017) olmak üzere iki kere uygulanmıştır. 25 kg da⁻¹ amonyum sülfat (%21 N) gübresi de yetiştirme dönemi süresince lolium tohum ekiminden sonra (15.11.2017) ve birinci rulo çim kesiminden sonra (15.04.2018) olmak üzere toplam iki kere uygulanmıştır.

3.2.4. Bitkisel üretim

Üç haftalık inkübasyon dönemi sonunda her parselden toprak örnekleme yapılmıştır. Daha sonra parsellere 15.15.15 kompoze gübre uygulanmıştır. Her parselde bermuda grass çimi stolon (çelik) halinde 10 m²'ye 1 bushel (1 bushel yaklaşık olarak 36 L'dir) olacak şekilde 11.07.2017 tarihinde dikilmiştir. Kapak malzemesi olarak kum

kullanılarak stolonların üstü ince ve homojen şekilde örtülmüştür (Şekil. 3.13.). Daha sonra parseller üzerinden silindir geçirilerek sıkıştırılmıştır.



Şekil 3.13. Parsellere bermuda çimi stolonlarının dikimi



Şekil 3.14. İnkübasyon sonrası parsellerde çim tesisi

Bermuda grass çiminin stolonları dikildikten sonra ilk biçim için tüm parsellerde çim alan oluşmaya başlayana dek beklenmiştir (Şekil. 3.14.). Bu süre zarfında gözleme dayalı veriler toplanıp kayıt altına alınmıştır. Stolon dikiminden iki ay sonra üst ekim öncesi 11.09.2017 tarihinde 15.15.15 kompoze gübre parsellere uygulanmıştır. 15.11.2017 tarihinde deneme parselleri yaklaşık 1 cm yüksekliğinde çim biçme makinası ile biçilmiş daha sonra vertikat makinesi ile işlenmiştir (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Kullanılan ekipmanlar. a) Çim biçme makinesi b) Vertikat makinesi

Parsellere m^2 'ye 80 g ($6 m^2$ 'ye 480 g) olacak şekilde *Lolium perenne* çimine ait tohum ekilmiştir. Tohum ekiminden sonra parsellere amonyum sülfat gübre uygulaması yapılmıştır. Çim gelişimi takip edilerek saha düzenli olarak 3 cm yükseklikten biçilmiştir. 15.04.2018 tarihinde rulo çim kesme makinesi kullanılarak araziden ilk rulo çim hasadı gerçekleştirilmiştir (1. Kesim). 1.5 cm derinlikten, 50 cm eninde ve 2 metre boyunda kesilen rulo çim şeritleri arasında bitki bırakılmamıştır (Şekil 3.16.). Hasad ile birlikte bu dönemde proje kapsamında planlanan toprak ve bitki örneklemeleri de gerçekleştirilmiştir. Rulo çim kesiminden sonra parsellere amonyum sülfat gübresi uygulanmıştır. Çim sahanın düzenli bakım işlemleri bir sonraki rulo çim kesimine kadar sürdürülmüştür. 15.09.2018 tarihinde rulo çim kesme makinası ile ikinci kez rulo çim hasadı gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde projede planlanan örneklemeler de gerçekleştirilmiştir. Rulo çim üretim denemesi sonlandırılmıştır. Böylece denemenin rulo çim üretim kısmı yaklaşık 15 ay sürmüştür. Özad (2010) bildirdiğine göre açık alanda yapılan rulo çim üretiminde köklerin tamamen toprağı kaplaması ve hasat edildiğinde formunu koruya bilmesi için en az 6 ay ortalama 18 ay zamana ihtiyacı vardır. Deneme süresince her parsele mini sprink yağmurlama sulama sistemi ile eşit sulama yapılmıştır. Yeşil kurt zararına karşı 2 kere önleyici ilaçlama yapılmıştır. Bu uygulama haricinde deneme süresince arazide başka kimyasal mücadele yapılmamıştır.



Şekil 3.16. Rulo çimler araziden kesilirken

3.2.5. Örneklem zamanları ve örnek sayısı

Çalışma kapsamında her parselden toprak, yaprak ve kök örnekleri laboratuvar analizlerini gerçekleştirmek üzere planlanan dönemlerde alınmıştır.

İlk dönem toprak örnekleme inkübasyon süresinin sonuna denk gelen 11.07.2017 tarihinde, stolon dikiminden ve kimyasal gübreleme yapılmadan hemen önce gerçekleştirilmiştir. İkinci dönem toprak örnekleme ilk rulo çim kesimi sırasında 15.04.2018 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Üçüncü dönem toprak örnekleme de ikinci rulo çim kesimi sırasında 15.09.2018 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Böylece toplam üç dönemde 120 toprak örneği alınmıştır (3 dönem x 40 parsel=120 toprak örneği). Ayrıca deneme alanının başlangıçtaki halini temsil edecek bir adet toprak örneği de çalışmaya başlamadan önce 01.05.2017 tarihinde araziden alınmıştır. Toprak burgusu ile 0-30 cm derinlikten alınan bu örnekler laboratuvar koşullarında hava kurusu hale getirilip 2 mm'lik elekten elenmiş, sızdırmaz kapaklı kaplara konarak etiketlenmiş laboratuvar analizlerinin gerçekleştirileceği zamana kadar serin ve kuru bir yerde muhafaza edilmiştir (Şekil. 3.17.).

Her iki rulo çim kesim döneminde de çim bitkilerinin yaprak ve köklerinden laboratuvar analizleri yapılmak üzere ayrı ayrı örnekleme yapılmıştır. Böylece yarısı yaprak yarısı da kök olmak üzere toplam 160 bitki örneği alınmıştır (2 dönem x 40 parsel x 2 bitki kısmı =160 bitki örneği). Alınan bitki örnekleri saf su ile yıkanıp temizlendikten sonra sabit ağırlığa gelene kadar 65°C'de etüvde kurutulmuş ve bitki değirmeninde öğütülmüştür. Elde edilen örnekler sızdırmaz kapaklı kaplara konarak etiketlenmiş, laboratuvar analizlerinin gerçekleştirileceği zamana kadar +4 °C'de saklanmıştır (Şekil. 3.18.).



Şekil 3.17. Analize hazırlanan toprak örnekleri

Rulo çim hasad döneminde parsellerden kesilen hazır rulo çim tabakalarının parçalanmaya karşı dayanıklılıkları arazide test edilmiştir (Şekil. 3.19.). Araziden kesilen rulo çimlerin serildiği ortamdaki adaptasyonlarının incelenmesi için birinci kesim döneminde hasad edilen rulo çimlerden yaklaşık 1m²'lik kısım adaptasyon parsellerine serilip bir ay süresince gelişimleri incelenmiştir. Proje kapsamında uygulamaların çim alan üzerindeki etkilerini belirlemek için gözleme dayalı parametrelerde döneminde takip edilmiş, ölçülüp kaydedilmiştir.



Şekil 3.18. Analize hazırlanan bitki örnekleri a) Yaprak örnekleri b) Kök örnekleri



Şekil 3.19. Rulo çimlerin kopmaya karşı dayanımları test edilirken

3.2.6. Kesilen rulo çimlerin serildiği ortamdaki adaptasyonlarının incelenmesi

Kesilen rulo çimlerin serildikleri yerdeki adaptasyonlarını incelemek için rulo çim serim parselleri hazırlanmıştır. Bu amaçla denemenin kurulduğu arazinin boş bir kısmı 20 cm derinlikte işlenip tesfiye edildikten sonra 2m²'lik parseller hazırlanmıştır. Birinci rulo çim kesim döneminde hasat edilen rulo çimler her parselden 1m²'lik büyüklükte kesilerek üretim denemesi ile aynı deneme deseninde bu parsellere serilmiştir (Şekil 3.20.). Parsellere taşınıp serilen çim bitkilerinin yeni ortamlarına adaptasyonlarını incelemek için 1 aylık adaptasyon süresi tanınmıştır. Bu süre zarfında ihtiyaca göre sadece sulama yapılmış herhangi bir gübreleme yapılmamıştır.



Şekil 3.20. Kesilen rulo çimlerin serildiği ortamdaki adaptasyonlarının incelenmesi

3.2.7. Çalışmada belirlenen parametreler ve yöntemleri

Bu bölümde çalışma kapsamında belirlenen parametreler ve kullanılan yöntemler ile ilgili bilgiler verilmiştir.

3.2.7.1. Deneme alanında belirlenen parametreler ve yöntemleri

Çıkış hızı (gün): Dikim tarihi ile parselde % 50 çıkışın tespit edildiği tarih arasındaki gün sayısıdır.

Kaplama hızı (gün): Dikim tarihi ile parselin % 75'inin tamamen bitki ile kaplandığı tarih arasındaki gün sayısıdır.

Bitki Boyu (cm): Toprak seviyesinden bitkinin en son büyüme noktasına kadar olan uzunluktur. Her kesim döneminde bir defaya mahsus olmak üzere tespit edilmiştir. En zayıf gelişen parseldeki bitki yüksekliği 2cm'e ulaştığında, tüm parsellerdeki bitki yüksekliğinin ölçülmesi ile bulunmuştur.

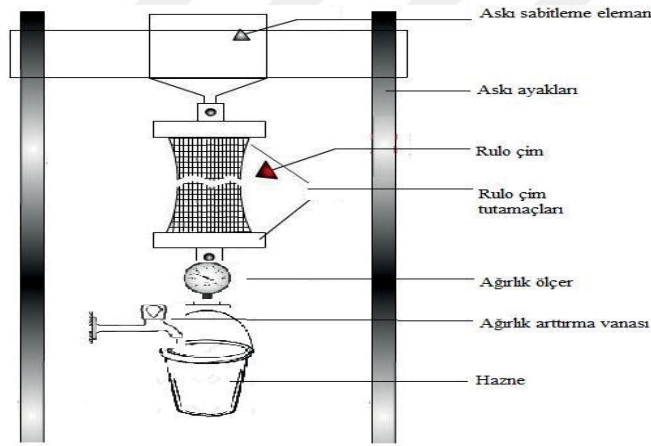
Yaprak rengi: 1= Sarı, 3=Açık sarı-yeşil, 5= Yeşil, 7=Koyu yeşil, 9= Çok koyu yeşil olarak 1-9 skalasına göre değerlendirilmiştir (Anonim 2001). Her bir kesim döneminde bir defaya mahsus olmak üzere toplam iki kere, rulo çim kesiminden bir gün önce belirlenmiştir.

Klorofil düzeyi: Klorofil metre cihazı (Konica Minolta spad-502 plus) ile her parselde on okuma yapılmış ve bu okumaların ortalamasının alınması ile değer belirlenmiştir. Her bir kesim döneminde bir defaya mahsus olmak üzere toplam iki kere, rulo çim kesiminden bir gün önce okumalar gerçekleştirilmiştir.

Yaş madde verimi: Her parsel çim biçme makinesi ile ayrı ayrı biçildikten sonra elde edilen yeşil çim el kantarı ile tartılıp kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler kümülatif toplanıp her parselden elde edilen yaş madde verimi kg/parsel olarak belirlenmiştir.

Kuru madde verimi: Her parsel çim biçme makinesi ile ayrı ayrı biçildikten sonra elde edilen yeşil çim el kantarı ile tartılıp kaydedilmiştir. Daha sonra biçilen yeşil çimden 100'er g alınarak kurutma fırınında kurutulmuştur. Kurutma sonucunda her parsel için yeşil bitkiden kuru bitkiye geçiş katsayısı hesaplanmıştır. Bu katsayı tüm parselden biçilen toplam yeşil çim ağırlığı ile çarpılarak toplam kuru madde verimi hesaplanmıştır.

Parçalanmaya Dayanım Testi: Parsellerden yaklaşık 50cmX50cm ebatlarında kesilen rulo çim tabakaları arazide kurulan test platformunda düşey ağırlık uygulanarak parçalanmaya dayanımları belirlenmiştir. Ağırlık uygulaması çim rulo şeridinin kopmaya başladığı ana dek devam ettirilmiş; kopmanın gerçekleştiği değer sisteme bağlı olan teraziden okunarak kaydedilmiştir. Kullandığımız test platformu Şekil 3.21.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Parçalanmaya dayanım test ekipmanı

3.2.7.2. Laboratuvarda belirlenen parametreler ve yöntemleri

Bu bölümde başlangıç deneme toprağı, arıtma çamuru ve örnekleme dönemlerinde yetiştirme ortamlarından elde edilen toprak ve bitki örneklerinde gerçekleştirilen laboratuvar analizleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Deneme alanında 0-30 cm derinlikten alınan toprak örnekleri gölgede kurutulmuştur. Daha sonra örnekler 2mm'lik elekten elenerek analizlerde kullanılmıştır. Deneme sahasında uygulamalardan önce ve örnekleme dönemlerinde yetiştirme

ortamlarından alınan toprak örneklerinde yapılan fiziksel ve kimyasal analizler aşağıda verilmiştir.

3.2.7.2.1. Başlangıç deneme toprağında gerçekleştirilen analizler

3.2.7.2.2. bölümünde verilen analizlere ek olarak aşağıdaki analizler yapılmıştır.

Toprak Bünyesi: Bouyoucos (1955) tarafından bildirilen esaslara göre hidrometre yöntemiyle toprakların bünye analizi yapılmıştır. Bünye sınıflarının belirlenmesinde toprak bünyesi sınıflandırma üçgeninden yararlanılmıştır (Black 1957).

Kireç (CaCO_3): Örneklerin CaCO_3 içerikleri Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiş ve sonuçlar % CaCO_3 olarak hesaplanmıştır (Çağlar 1949).

3.2.7.2.2. Yetiştirme ortamlarından alınan toprak örneklerinde yapılan analizler

Toprak reaksiyonu (pH): Toprak örneklerinin pH'ları 1:2.5 oranında toprak:su karışımında pH-metre aleti ile ölçülmüş (Jackson, 1967) ve sonuçlar Kellogg (1952)'a göre sınıflandırılmıştır.

Elektriksel iletkenlik (EC): Toprak örneklerinin suda çözünür toplam tuz içeriği 1:2.5 oranında toprak:su karışımında EC-metre aleti ile ölçüldükten sonra Soil Survey Staff (1951)'a göre sınıflandırılmıştır.

Organik madde: Örneklerin organik madde içerikleri Modifiye Walkley-Black metoduna göre tayin edilerek (Black, 1965) elde edilen sonuçlar % olarak hesaplandıktan sonra Thun vd (1955)'e göre sınıflandırılmıştır.

Toplam N: Örneklerin toplam N içerikleri Modifiye Kjeldahl metoduna göre (Kacar, 1995) tayin edilerek elde edilen sonuçlar % olarak hesaplandıktan sonra Loue (1968)'ya göre sınıflandırılmıştır.

Alınabilir P: Örneklerin alınabilir P içeriklerinin belirlenmesi için Olsen metodu kullanılmıştır. Elde edilen süzüklerin konsantrasyonları Perkin Elmer markasının Optima 7000 DV model (PE-Optima7000DV) indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) cihazında belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Olsen ve Sommers (1982)'ye göre sınıflandırılmıştır.

Değişebilir K, Ca, Na ve Mg: Kacar (1995) tarafından bildirildiği şekilde örneklerin ekstraksiyonunda 1 N amonyum asetat (pH=7) kullanılarak ekstraksiyon elde edilmiştir. Elde edilen süzüklerin konsantrasyonları ICP-OES (PE-Optima7000DV) cihazında belirlenmiştir. K sonuçları Pizer (1967)'e, Ca ve Mg sonuçları Loue (1968)'e göre sınıflandırılmıştır.

Alınabilir P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cd, Cr ve Ni: Örneklerin 0.005 M DTPA ile ekstrakte edilmesi prensibine dayanan Lindsay ve Norwell (1978)'e göre elde edilen süzüklerin konsantrasyonları ICP-OES (PE-Optima7000DV) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Toplam Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cd, Cr ve Ni: Örneklerden 1g alınarak üzerlerine 3 ml HCl (% 37), 9 ml HNO₃ (% 65) ilave edildikten sonra digiblok (Labtech ED 36S) yakma ünitesi kullanılarak yaş yakma yapılmıştır. Daha sonra elde edilen süzüklerde Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni elementlerinin toplam konsantrasyonları ICP-OES (PE-Optima 7000 DV) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. EPA 3051A metoduna göre yapılmıştır.

3.2.7.2.3. Arıtma çamurunda yapılan analizler

3.2.7.2.1. bölümünde verilen analizlere ek olarak aşağıdaki analizler yapılacaktır.

Organik madde: Organik madde içeriği kuru yakma metoduna göre belirlenmiştir (Kacar, 1995).

pH değeri: Örneklerin pH değerleri 1:5 oranında arıtma çamuru-su karışımında 1 saat süreyle çalkalandıktan sonra pH-metre ile okunarak belirlenmiştir (Anonymous 1978).

Elektriksel iletkenlik (EC): Örneklerin EC değerleri 1:5 oranında arıtma çamuru-su karışımında 1 saat süreyle çalkalandıktan sonra EC-metre ile okunarak belirlenmiştir (Anonymous 1978).

3.2.7.2.4. Bitki analizleri

Yaş madde verimi: Her parsel çim biçme makinesi ile ayrı ayrı biçildikten sonra elde edilen yeşil çim el kantarı ile tartılıp kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler kümülatif toplanıp her parselden elde edilen yaş madde verimi kg/parsel olarak belirlenmiştir.

Kuru madde verimi: Her parsel çim biçme makinesi ile ayrı ayrı biçildikten sonra elde edilen yeşil çim el kantarı ile tartılıp kaydedilmiştir. Daha sonra her parselden alınan 100g bitki örneği 65 °C'de sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuş ve hassas terazide tartılarak 100 g yaş ağırlıktan elde edilen kuru madde verimi katsayısı bulunmuştur. Toplam parselden elde edilen yaş ağırlıktan kuru ağırlığın hesaplanmasında bu katsayılar kullanılmıştır.

Deneme boyunca, örnekleme dönemlerinde her bir parselden ayrı ayrı alınan çim bitkilerinin yaprak ve kök örnekleri saf su ile yıkandıktan sonra kurutma dolabında 65 °C'de sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuştur. Daha sonra bu örnekler bitki öğütme değirmeninde öğütülmüş ve analize hazır hale getirilmiştir. Analize hazır hale getirilen bu örnekler etiketlenerek nem çekmemesi için sızdırmaz kapaklı kaplara koyulmuştur. Analizin gerçekleştirileceği zamana kadar buzdolabında +4 C°'de muhafaza edilmiştir. Öğütülmüş bitki örneklerinde bazı besin elementi ve ağır metal analizleri yapılmıştır.

Azot: Örneklerde N tayini modifiye Kjeldahl metoduna göre yapılmıştır (Kacar ve İnal, 2008).

P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cd, Cr ve Ni: Analize hazır hale getirilen örnekten 0.5 g tartılarak üzerine 3 ml HCl (%37), 9 ml HNO₃ (%65) asit ilave edildikten sonra digiblok (Labtech ED 36S) yakma ünitesinde yaş yakma işlemi yapılmıştır (EPA 3051a). Daha sonra elde edilen süzükte bu elementlerin toplam konsantrasyonları ICP-OES (PE-Optima 7000 DV) cihazında belirlenmiştir.

Toplam klorofil: Alınan taze yaprak örneklerinde aynı gün içerisinde aseton ekstraksiyon yöntemine göre klorofil analizi yapılarak değerler spektrofotometrede okunmuştur (Williams 1984). Her bir kesim döneminde bir defaya mahsus olmak üzere toplam iki kere, rulo çim kesiminden bir gün önce belirlenmiştir.

3.2.7.3. Analiz sonuçlarına göre yapılacak hesaplamalar

Elde edilen analiz sonuçlarından bazıları kullanılarak aşağıdaki formüllere göre hesaplamalar yapılmıştır.

Translokasyon Faktörü (TF): Bitkinin köklerden hasat edilebilir üst aksamına ağır metallerin taşınma yeteneğini gösterir (Mattina vd. 2003). Çalışmada analiz edilecek her bir ağır metal için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$TF = \frac{\text{Bitki toprak üst aksamındaki metal konsantrasyonu}}{\text{Bitki kök aksamındaki metal konsantrasyonu}}$$

Biyoakümülyasyon (Biyokonsantrasyon) faktörü (BAF): Bitkilerin ağır metalleri topraklardan alarak dokularında akümüle edebilme yeteneğini değerlendirebilmek için kullanılmaktadır. Bitki aksamlarındaki metal konsantrasyonunun topraktaki toplam metal konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu değer hem bitki üst aksamı ve hem de kök aksamı için belirlenebilir (Liu vd 2008). Çalışmada analiz edilecek her bir ağır metal için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$BAF = \frac{\text{Bitkinin aksamındaki metal konsantrasyonu}}{\text{Yetiştirme ortamlarındaki toplam metal konsantrasyonu}}$$

3.2.8. İstatistiksel analizler

Araştırmadan elde edilen verilerin anlamlandırılması için istatistiksel analizler yapılmıştır. Bu amaçla uygulama konularının, incelenen özellikler üzerine etkilerini belirlemek için, her bir özelliğe ait ortalama değerler bilgisayar ortamında SPSS 17.0 istatistiksel analiz paket programı kullanılarak değerlendirmeye alınmıştır. Bu kapsamda deneme sonunda elde edilen sonuçların varyans analizi ile önemlilikleri belirlenmiş (%5 düzeyinde), önemli bulunan sonuçlar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile harflendirilerek derecelendirilmiştir (SPSS 2015).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tez çalışmasından elde edilen bulgular verilmiş; sonuçlar değerlendirilip tartışılmıştır.

4.1. Yetiştirme Ortamlarının pH, EC, Organik Madde Kapsamları ve Değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının yetiştirme ortamlarının pH, EC ve organik madde değerlerine etkisini belirlemek amacıyla üç farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. Dönem verileri 11.07.2017 tarihinde inkübasyon dönemi sonrasında yapılan toprak örnekleme sonuçlarıdır. 2. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örnekleme sonuçlarıdır. 3. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örnekleme sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.

4.1.1. Yetiştirme ortamlarının pH’sı ve değerlendirilmesi

Çizelge 4.1.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkileşimin yetiştirme ortamlarının pH’ı üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının pH’sı üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	7.57g	7.57g	7.60e	7.36cd	7.53f	7.52f	7.57G	7.48F
AÇ ₂	7.42f	7.15cd	7.38d	7.24abc	7.47ef	7.38de	7.42F	7.25DE
AÇ ₄	7.28e	7.10bc	7.28bcd	7.20ab	7.37de	7.36cde	7.31E	7.22CD
AÇ ₆	7.23de	7.02a	7.15ab	7.18ab	7.27cd	7.12b	7.21CD	7.11B
AÇ ₈	7.10bc	6.86a	7.17ab	7.11a	7.24c	6.98a	7.17BC	6.99A
Varyans	51.921***		10.522***		17.907***			
Ortalama	7.23A		7.27B		7.32C		7,34	7,21
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	58.746***							
Dönem	13.741***							
AÇXDön.	3.987***							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en düşük pH değeri 6.99 olarak AÇ₈KG+ uygulamasında ve en yüksek pH değeri ise 7.57 olarak AÇ₀KGØ uygulamasında saptanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının pH’sının düzenli olarak azaldığı istatistiki açıdan önem arz

edecek şekilde görülmektedir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının pH değişimi üzerine etkisi incelendiğinde arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının pH'ında ki düşüşü teşvik etme yönündedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağının pH'sı 7.45 olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminin ortalama pH değerleri dikkate alındığında başlangıç pH değerine göre her üç dönem pH değerlerinin de daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Ancak uygulamaların yetiştirme ortamlarının pH'ı üzerine en güçlü etkisi 1. örnekleme döneminde gözlenmiştir. Bu etki 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde düzenli olarak azalmış ve bu trend istatistiki açıdan net şekilde ifade edilmiştir. Ancak 3. örnekleme döneminde bile yetiştirme ortamlarının pH'sı toprağın başlangıç pH'sından daha düşük tespit edilmiştir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında başlangıç toprağının pH'sı 7.45 ile hafif alkali sınıfında iken uygulamalar sonucunda pH düşerek bazı konular daha asit bir sınıflandırma olan nötr sınıfına dahil olmuştur (Kellogg 1952). Arıtma çamuru uygulaması yapılmayan konularda ise üç örnekleme döneminde de pH sınıfında bir değişiklik olmamıştır. Uygulamaların pH üzerindeki etkisinin zamanla azaldığı fark edilmiştir. Arıtma çamuru uygulamaları ile pH'da meydana gelen değişim toprağın sahip olduğu tamponluk kapasitesi başta olmak üzere arıtma çamurunun mineralizasyonu sürecinde meydana gelen asitlik unsurları ve sahip olduğu değişebilir iyonlara bağlıdır. Ayrıca arıtma çamurunun stabilitesi aşamasında kullanılan kireç ve materyalin nihai pH değeri de önemli bir faktördür (Wong vd. 1996). Bu faktörlere bağlı olarak arıtma çamurunun pH üzerine artırıcı ve azaltıcı sonuçlarına rastlanan çok sayıda çalışma ile karşılaşmak mümkündür (Göçmez 2006; El-Naim vd. 2004; Aoyama vd. 2006; OK 2012). Bilindiği üzere bitki besin elementlerinin en iyi alındığı pH aralığı pH 6.5-7.0 aralığıdır (Brady 1974). Uygulamaların yetiştirme ortamlarının pH'sında neden olduğu değişim ile bitki besin elementlerinin yarayışlılığının artması beklenmektedir. Böylece uygulamaların bitkisel üretime dolaylı fayda sağlaması muhtemeldir. Maltas ve Kaplan (2017) tarafından yapılan bir çalışmada fertigasyonda farklı miktarlarda asit kullanımının kalkerli bir toprağın pH değeri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada araştırmacılar fertigasyon pH'sının düşürülmesi ile bitki besin elementlerinin yarayışlılığının artabileceğini böylece özellikle kalkerli ve yüksek pH değerlerine sahip topraklarda daha az gübre kullanımı ile etkili bitki besleme gerçekleştirebileceğini bildirmişlerdir.

4.1.2. Yetiştirme ortamlarının EC değerleri ve değerlendirilmesi

Çizelge 4.2.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının EC'si üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek EC değerine 0.444 dS m⁻¹ olarak AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük EC değerine de 0.174 dS m⁻¹olarak

AÇoKGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının EC'sinin düzenli olarak arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek şekilde görülmektedir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının EC değişimi üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının yükselen EC değerini teşvik etme yönündedir.

Çizelge 4.2. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının EC'si (dS m^{-1}) üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	0.198d	0.217d	0.166c	0.187bc	0.159e	0.175de	0.174D	0.193D
AÇ ₂	0.288cd	0.509b	0.209ab	0.206ab	0.183cd	0.193abcd	0.227CD	0.303B
AÇ ₄	0.496bc	0.541b	0.203ab	0.226a	0.185bcd	0.192abcd	0.295BC	0.319B
AÇ ₆	0.567b	0.845a	0.219a	0.229a	0.205abc	0.193abcd	0.330B	0.422A
AÇ ₈	0.783a	0.904a	0.211ab	0.216ab	0.208ab	0.213a	0.401A	0.444A
Varyans	12.155***		3.690**		4.947***			
Ortalama	0.535A		0.207B		0.191B		0.285	0.3362
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	14.629***							
Dönem	210.413***							
AÇXDön.	10.588***							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprak EC'si 0.25 dS m^{-1} olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminin ortalama EC değeri ayrı ayrı incelendiğinde, EC'nin 1. dönemde başlangıç toprağına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak 2. ve 3. örnekleme döneminde EC değerlerinin düzenli olarak azaldığı; toprağı başlangıç EC değerinden bile daha düşük seviyelere indiğı görülmektedir. Her ne kadar 3. örnekleme döneminde ölçülen ortalama EC değeri 2. Dönemde ölçülenden daha düşükse de, iki dönem arasında fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile benzer önem derecesinde ve uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ve kimyasal gübre uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının EC değerleri düzenli şekilde artmıştır. Bu duruma başlangıç toprağına EC değeri (0.25 dS m^{-1}) ile uygulanan arıtma çamurunun EC değeri (4.5 dS m^{-1}) arasındaki büyük farkın sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının da EC'yi arttırdığı bilinmektedir (Kaplan vd. 2002). Wong vd. (2001)'e göre EC değeri $< 2 \text{ dS m}^{-1}$ den olan arıtma çamurlarının toprakta yaratabilecekleri tuzluluk etkisinin ihmal edilebileceğini ancak bu değerin $> 2 \text{ dS m}^{-1}$ olması durumunda oluşabilecek tuzluluğun çok hassas bitkiler için gelişimi olumsuz etkileyebileceğini bildirmişlerdir. Arıtma çamurlarının EC artışına sebep olduğu ile

ilgili çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür (Göçmez 2006; Aldatmaz 2006; Ok 2012). Deneme sürecinde elde edilen EC değerlerinin tamamından yetiştirme ortamlarının toprak tuzluluk sınıfı Aydemir (1992)'ye göre "tuzsuz" olarak tespit edilmiştir. Arıtma çamuru EC'sinin $> 2 \text{ dS m}^{-1}$ olması durumunda tuzluluk riski yaratabileceğini belirtmiştir (Wong vd. 2001). Bu literatür bilgisine uyumlu şekilde birinci dönem örneklemeğinde yüksek doz arıtma çamuru uygulamalarında EC'de sınırlı artış gözlenmiştir. Ancak ilerleyen dönemlerde toprak EC'si düşerek başlangıç seviyelerine yakın değerler almıştır. Kaplan ve Akay (1995)'de yaptıkları bir çalışmada Kumluca ve Finike yöreleri sera topraklarının farklı örnekleme dönemlerinde EC değişimlerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda sera toprakları EC değerlerinin, bir yetiştirme dönemi içerisinde gösterdiği değişimin önemli olduğunu bildirmişlerdir. Örnekleme dönemleri arasında EC'de tespit ettiğimiz dikkat çekici değişim söz konusu çalışma ile uyumludur. EC'de gözlenen bu değişime çim sahanın düzenli sulanması ile toprak tuzluluğunun toprak derinliğine yılanmasının (Rhoades 1974; Hoffman, 1980; Yeter ve Yurtseven 20115) ve hasat edilen bitki materyali ile tuzluluk yaratan faktörlerin topraktan kaldırılmasının etkili olduğu düşünülmektedir (Dikilitaş 2012).

4.1.3. Yetiştirme ortamlarının toplam organik madde içeriği ve değerlendirilmesi

Çizelge 4.3.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam organik madde içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının toplam organik madde içeriği üzerine etkisi ise önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının organik madde (%) içeriği üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	1.60e	1.85d	1.39e	1.42e	1.34e	1.40de	1.44G	1.56G
AÇ ₂	2.09c	2.10c	1.50e	1.94d	2.01cd	2.02cd	1.87F	2.02EF
AÇ ₄	2.25c	2.18c	2.18bcd	2.12cd	2.04cd	2.21bc	2.16DE	2.17DE
AÇ ₆	2.29c	2.30c	2.49ab	2.41abc	2.70ab	2.25bc	2.50C	2.32CD
AÇ ₈	2.88a	2.60b	2.62a	2.57a	3.08a	2.79ab	2.86A	2.65AB
Varyans	22.207***		21.142***		7.167***			
Ortalama	2.21A		2.06B		2.19BA		2,17	2,14
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	30.455***							
Dönem	3.085 ^{Ö.D.}							
AÇXDön.	1.408 ^{Ö.D.}							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek organik madde değerine % 2.86 ile AÇ₈KGØ uygulamasında rastlanırken en düşük organik madde değerine de % 1.44 ile AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda

arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının organik madde içeriğinin düzenli olarak arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek şekilde görülmektedir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarının organik madde değişimi üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiksel önemi düşük olmakla beraber anlamlı bir değişime neden olduğu söylenebilir. Bu etki AÇ₀, AÇ₂ ve AÇ₄ ile birlikte kimyasal gübre uygulanan konularda uygulanmayanlara göre yetiştirme ortamlarının organik madde içeriğinin sınırlı da olsa daha yüksek olması; AÇ₆ ve AÇ₈ konularında ise durumun tersine dönerek kimyasal gübre uygulanmayan parsellerde uygulananlara göre daha yüksek organik madde tespit edilmesi şeklinde özetlenebilir. Dönem ortalamalarında elde edilen sonuçların daha iyi değerlendirilebilmesi için her bir dönem için yapılan istatistikler ayrı ayrı incelenmiştir. Uygulama konuları ile organik madde içeriği arasında bahsedilen ilişkinin her bir dönemde de dönem ortalaması verileri ile bire bir olmasa da büyük benzerlik teşkil ettiği görülmüştür. Örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının organik madde içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemsiz tespit edilmekle birlikte her üç dönemde de yetiştirme ortamlarının organik madde içerikleri toprağın başlangıç organik madde değeri olan % 1.66'dan daha yüksek bulunmuştur. Angın (2008)'in bildirdiğine göre toprağa uygulanan arıtma çamurunun toprak organik maddesi üzerine iki yıl süreyle azalarak devam eden bir etkisi vardır. Benzer şekilde çalışmada organik madde içeriğinde ikinci ve üçüncü örnekleme döneminde bir miktar düşüş gözlenmiş ancak istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Muhtemelen örneklemler sürdürülseydi bu azalma bir aşamadan sonra istatistiksel olarak önem kazanacaktı. Bu noktanın bilinmesi arıtma çamuru uygulamalarının tekrarına karar vermede önemli bir veri olacaktır. Arıtma çamuru uygulamalarının toprakta yarattığı etkinin sönümlenme süresinin tespiti için daha uzun arazi çalışmasına sahip araştırmaların yapılmasında fayda olduğu düşünülmektedir. Denemede kullanılan arıtma çamurunun organik madde içeriği % 73.60 dır. Başlangıç toprağının organik maddesi içeriği ise % 1.66 ile Schlichting vd. (1960)'a göre “düşük” sınıfındadır. Deneme toprağının düşük organik madde içeriğine sahip olup uygulanan arıtma çamurunun çok yüksek organik madde içermesi uygulama konularında organik madde artışıdaki dikkat çekici ivmenin kaynağı olarak nitelendirilmiştir. Arıtma çamuru uygulanması ile toprak organik maddesindeki artış iyi bilinen bir kazanımdır (Tsadilas vd. 2005; Cheng vd. 2007). Yapılan birçok çalışmada toprağa uygulanan arıtma çamurunun avantajları arasında toprağın organik maddesindeki artış ilk sırada sayılarak en önemli etki olarak nitelendirilmektedir (Zufiaurre vd.1998; Franco-Hernandez vd. 2003; Nguyen 2005). Böyle kabul edilmesi toprak organik maddesinin artması ile toprağın havalanması ve su tutması gibi fiziksel özelliklerinin iyileşmesi (Wong vd. 2001), toprağın katyon değişim kapasitesinin artması (Franco-Hernandez vd. 2003) ve besin elementlerinin yeniden kazanılması (Laturnus vd. 2007) gibi birçok dolaylı faydanın temel kaynağı olmasındandır. Bilindiği gibi rulo çim üretim alanları ağırlıkla kum bünyeli topraklardır. Rulo çim üretiminde arıtma çamuru uygulanması ile toprağa bitki besin maddeleri ilave edildiği gibi düşük katyon değişim kapasitesinin de bir miktar dengelenmesi mümkün olabilir. Ayrıca rulo çim hasadı olarak da adlandırılan rulo çimin kesilip araziden alınması esnasında önemli miktarda toprak kaybedilmektedir. Bitki besleme açısından en aktif ve kıymetli kısmı olan üst tabaka araziden taşınmaktadır. Bu durum uzun vadede toprağın verim kapasitesinin düşmesine ve toprak katmanının sığlaşmasına da neden olacaktır. Rulo çim üretiminde arıtma çamuru kullanılması ile toprağın organik madde içeriğini çim

yetiştiriciliği için önerilen optimum aralık olan % 2-4 seviyesine çıkarmak mümkün olduğu gibi ayrıca toprak kaybının da bir miktar azalabileceği düşünülmektedir.

4.2. Yetiştirme Ortamlarında Bitkiye Yararışlı ve Toplam Makro Element Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi

4.2.1. Yetiştirme ortamlarının toplam azot konsantrasyonu ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının yetiştirme ortamlarının toplam azot konsantrasyonuna etkisini belirlemek amacıyla üç farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. Dönem verileri 11.07.2017 tarihinde inkubasyon dönemi sonrasında yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. 2. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. 3. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının azot içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının azot içeriği üzerine etkisi ise önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.4. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının azot (%) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	0.09d	0.09d	0.08d	0.08d	0.07e	0.08e	0.08E	0.08E
AÇ ₂	0.14c	0.15c	0.12c	0.13c	0.11d	0.11d	0.13D	0.13D
AÇ ₄	0.17bc	0.17bc	0.13c	0.14c	0.12cd	0.13c	0.14CD	0.15C
AÇ ₆	0.18abc	0.18abc	0.17b	0.18b	0.16b	0.17b	0.17B	0.18B
AÇ ₈	0.22ab	0.23a	0.18b	0.20a	0.17ab	0.19a	0.19B	0.21A
Varyans	10.212***		23.851***		45.724***			
Ortalama	0.16A		0.14B		0.13B		0,14	0,15
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	50.506***							
Dönem	19.963***							
AÇXDön.	0.476 ^{Ö.D.}							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek azot değeri % 0.21 ile AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük azot değerine % 0.08 ile her iki AÇ₀ uygulamalarında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının azot içeriğinin düzenli olarak arttığı

istatistiki açıdan önem arz edecek şekilde görülmektedir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarının azot içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan sınırlı da olsa bazı konularda önemli bulunduğu ve anlamlı değişime sebep olduğu görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının azot içeriğinde neden olduğu artışı; AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ konularında teşvik ederek arttırması şeklinde gözlenmiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın azot içeriği % 0.10 olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminin ortalama azot değerleri ayrı ayrı incelendiğinde toprağın başlangıç azot değerine göre her üç dönem azot değerlerinin de daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Ancak uygulamaların toprağın azot içeriği üzerine en güçlü etkisi 1. örnekleme döneminde gözlenmiştir. Bu etki 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde düzenli olarak azalmıştır. Ancak 3. örnekleme döneminde bile yetiştirme ortamlarının azot içeriği toprağın başlangıç azot içeriğinden daha yüksek tespit edilmiştir. Uygulama konuları değerlendirildiğinde birinci dönemde AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ konularının azot değerlendirmeleri Kovancı (1969)'a göre “yüksek” düzeyde iken ikinci dönem örneklemede AÇ₆ ve AÇ₈ dozları “yüksek” düzey olarak sınıflandırılmıştır. Üçüncü dönemde ise AÇ₈ dozları ve sadece AÇ₆ dozunun kimyasal gübre ile birlikte uygulanan konusu “yüksek” düzey olarak sınıflandırılmıştır. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın azot içeriğini arttırdığı çok sayıda çalışmada rapor edilmiştir (Navas 1998; Kocaer ve Başkaya 2001; Singh vd 2004; Orman vd. 2014). Özellikle azot içeriği düşük topraklara yüksek dozda arıtma çamuru uygulamaları ile bu etki daha güçlü ortaya çıkmaktadır (Ok 2012). Deneme toprağının azot yeterliliği Kovancı (1969)'a göre % 0.10 azot içeriği ile “orta” düzeyde sınıflandırılmıştır. Denemede kullanılan arıtma çamurunun azot içeriği % 6.78 ile oldukça yüksek tespit edilmiştir. Arıtma çamurları yüksek bitkilerin gelişimi için bütün mutlak gerekli elementleri içermekle beraber en bol ihtiva ettiği bitki besin elementlerinden biri de azottur (Pedreno vd. 1996). Ayrıca çalışmada uygulanan en yüksek arıtma çamuru dozu olan 8 ton da⁻¹ (% 3.2) uygulaması başta olmak üzere toprağa önemli miktarda materyal uygulanmıştır. Tüm bu faktörler birleşince bazı konularda kontrolün iki katına kadar azot değerlerine rastlamak mümkün olmuştur.

4.2.2. Yetiştirme ortamlarının alınabilir ve toplam fosfor konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının yetiştirme ortamlarının alınabilir ve toplam fosfor içeriğine etkisini belirlemek amacıyla üç farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. Dönem verileri 11.07.2017 tarihinde inkübasyon dönemi sonrasında yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. 2. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. 3. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.5. ve 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örneklemme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örneklemme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının alınabilir fosfor içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir fosfor (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	56.90d	60.10d	43.58c	52.53c	48.89d	48.97d	49.8D	53.9D
AÇ ₂	136.41c	144.07bc	155.00b	146.89b	160.34c	153.17c	150.6C	148.0C
AÇ ₄	147.90bc	155.37abc	165.99b	164.04b	170.89c	233.50b	161.6C	184.3B
AÇ ₆	150.27bc	158.85ab	205.63a	209.54a	244.05b	234.70b	200.0B	201.0B
AÇ ₈	162.80ab	173.34a	207.80a	215.78a	331.10a	338.84a	233.9A	242.7A
Varyans	38.420***		27.614***		32.557***			
Ortalama	134.6C		156.7B		196.4A		159,2	166,0
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	80.093***							
Dönem	59.394***							
AÇXDön.	7.465***							

1. Değerler 4 tekrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek alınabilir fosfor içeriğine 242.7 mg kg^{-1} olarak AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük alınabilir fosfor değerine de 49.8 mg kg^{-1} olarak AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile toprak alınabilir fosfor içeriğinin düzenli olarak arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek şekilde görülmektedir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarındaki alınabilir fosfor içeriği üzerine etkisi incelendiğinde arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin yetiştirme ortamlarının alınabilir fosfor içeriğinde çok sınırlı da olsa müspet değişime neden olduğu görülmektedir. Bu sınırlı etkinin istatistiksel açıdan önemi dönem ortalamalarında sadece AÇ₄KG+ uygulamasında AÇ₄KGØ uygulamasına göre aldığı harf değeri ile görülmektedir. Her bir dönem içi değerler ayrı ayrı incelendiğinde arıtma çamuru uygulamaları ile kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarının fosfor içeriğini arttırıcı etkisini 1. dönem verilerinde diğer dönem verilerine göre daha açık görmekteyiz. Birinci dönemde bahsedilen bu etki AÇ₂, AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ konularının harflendirilmelerinde kendini istatistiki olarak ifade etmiştir.

Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağının alınabilir fosfor içeriği 58.02 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminin ortalama alınabilir fosfor değerleri ayrı ayrı incelendiğinde başlangıç alınabilir fosfor değerine göre her üç dönem değerlerinin de daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte uygulamaların alınabilir fosfor içeriği

üzerine etkisi her dönemde istatistiksel açıdan anlamlı şekilde artmış ve en yüksek değere 3. dönem örneklemelerinde ulaşmıştır.

Deneme toprağının alınabilir fosfor durumu Olsen vd. (1965)'e göre 58.02 mg kg⁻¹ ile “yüksek” düzeyde sınıflandırılmıştır. Çim bitkileri için yetiştirme ortamlarında istenen optimum alınabilir fosfor içeriği 15-50 mg kg⁻¹ olarak kabul edilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde tüm uygulamaların çim yetiştiriciliği için yüksek düzeyde fosfor içerdiği söylenebilir. Ancak bitkilerin fosfor beslenmesi başta toprağın kimyasal özellikleri olmak üzere birçok faktörden önemli şekilde etkilenir. Bu nedenle deneme alanının yüksek pH ve kireç içeriğinden dolayı fosfor beslenmesi bakımından dezavantajlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Özdoğan ve Seferoğlu (2015)'in yaptıkları bir çalışmada Aşağı Büyük Menderes havzasında toprak örnekleri olarak toprakların alınabilir fosfor içeriklerini araştırmışlardır. Çalışmada toprakların alınabilir fosfor içeriği 10.31-116.90 mg kg⁻¹ arasında tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde örneklerin % 66.67'sinde toprakların fosfor durumunu Olsen vd. (1965)'e göre “yüksek” olarak sınıflandırılmıştır. Benzer şekilde Aydın vd. (2008)'in yaptığı çalışmada vadi topraklarının fosfor içeriklerinin 4.6-105.7 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Çalışmaların sonuçları birbiriyle paralellik göstermektedir. Deneme kapsamında bulduğumuz sonuçlar literatür ile uyumludur. Denemede kullanılan arıtma çamurunun toplam fosfor içeriği 25380 mg kg⁻¹ ile oldukça yüksek tespit edilmiştir. Arıtma çamurları yüksek bitkilerin gelişimi için bütün mutlak gerekli elementleri içermekle beraber en bol ihtiva ettiği bitki besin elementlerinden biri de fosfordur (Takachi vd. 2007; Schowanek vd. 2007). Ayrıca en yüksek arıtma çamuru dozu olan 8 ton da⁻¹ (% 3.2) uygulaması başta olmak üzere toprağa önemli miktarda materyal uygulanmıştır. Tüm bu faktörler birleşince bazı konularda kontrolün yedi katına kadar alınabilir fosfor değerlerine rastlamak mümkün olmuştur. Bu nedenle arıtma çamurunun bitkisel üretime en önemli faydaları arasında fosfor beslenmesine olan etkisini göz ardı etmemek gerekir (Ok 2012).

Çizelge 4.6.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örneklem dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki interaksyonun yetiştirme ortamlarının toplam fosfor içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek toplam fosfor içeriğine 1475.5 mg kg⁻¹ olarak AÇ₆KGØ uygulamasında rastlanırken en düşük toplam fosfor değerine de 816.1 mg kg⁻¹ olarak AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın toplam fosfor içeriğinin arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek şekilde görülmektedir. Bu düzenli artış KG+ uygulamalarının tümünde gözlenirken; KGØ uygulamalarında AÇ₆ arıtma çamuru dozuna kadar gözlenmiş, AÇ₈ değeri bir miktar AÇ₆ değerinin altında bulunmakla birlikte iki değer arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark tespit edilememiştir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarındaki toplam fosfor içeriği üzerine etkisi incelendiğinde arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin yetiştirme ortamlarının toplam fosfor içeriğinde çok sınırlı da olsa etkisi olduğu görülmüştür. Bu sınırlı etki AÇ₄ dozu arıtma çamuru uygulamalarına kadar kimyasal gübre uygulaması yapılan parsellerin kimyasal gübre uygulaması yapılmayan parsellere göre bir miktar daha yüksek değer alması ve istatistiksel olarak harflendirme ile ifadesi şeklinde gözlenmiştir. Ancak AÇ₆ ve AÇ₈ dozu arıtma çamuru

uygulamalarında bu etki görülmemiş kimyasal gübre uygulanmayan konular uygulananlara göre, fark az olmakla beraber, daha yüksek tespit edilmiştir. Çalışmada tespit edilen en yüksek toplam fosfor değerine her ne kadar AÇ₆KGØ konusunda rastlansa da AÇ₈KGØ ve AÇ₈KG+ konuları da istatistiksel olarak aynı harfler ile gösterilmiş, aralarında anlamlı fark bulunmamıştır. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler incelendiğinde, dönemler ortalaması ile benzer önem derecesine ve uyuma rastlanmıştır. Dönemler ortalaması için yapılan genel yorumlamanın dışında ekstrem özellik gösteren döneme rastlanmamıştır.

Çizelge 4.6. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam fosfor (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	839c	887bc	805b	855b	804e	1064de	816.1D	935.3D
AÇ ₂	817c	884c	825b	838b	1271cde	1281cde	970.8CD	984.5CD
AÇ ₄	843c	888bc	846b	944b	1298cde	1663bc	995.5CD	1164.8BC
AÇ ₆	1218a	1097ab	1301a	1284a	1908ab	1550bcd	1475.5A	1310.1AB
AÇ ₈	952bc	1034abc	1068ab	1066ab	2231a	2050ab	1417.1A	1383.3A
Varyans	3.307**		4.957***		7.047***			
Ortalama	940.8B		983.1B		1512.0A		1135.0	1155.6
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	11.940***							
Dönem	72.800***							
AÇXDön.	3.329***							

1. Değerler 4 tekrarlı ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağının toplam fosfor içeriği 825 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminde elde edilen değerler ayrı ayrı incelendiğinde başlangıç toprağının toplam fosfor içeriğine göre her üç dönem değerlerinin de daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Uygulamalar yetiştirme ortamlarının toplam fosfor içeriğini önemli düzeyde yükseltmiştir. Ayrıca uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam fosfor içeriği üzerine etkisinin zamanla arttığı tespit edilmiştir. Çünkü örnekleme dönemlerinde elde edilen veriler düzenli bir artış trendi göstererek en yüksek noktaya 3. dönem örneklemesinde ulaşmıştır. Bahsedilen durum istatistiksel olarak da önemli bulunmuş ve harflendirme ile açıkça ifade olmuştur.

Lindsay (1979) tarafından bildirildiğine göre toprakların toplam fosfor içeriği ortalama 600 mg kg⁻¹ düzeyinde bulunmaktadır. Brinck (1978)'e göre yer kürenin üst kabuğunda toplam fosfor içeriği ortalama olarak 1000 mg kg⁻¹ civarındadır. Tripathi vd. (1970) topraktaki toplam fosfor içeriği için bildirdikleri sınır değerlerde 300-500 mg kg⁻¹ arasını “düşük”, 600-1000 mg kg⁻¹ arasını “orta” ve >1000 mg kg⁻¹ “yüksek” olarak sınıflandırmışlardır. Çetin (2019) tarafından Develi Ovası topraklarında yapılan çalışmada 0-30 cm toprak derinliğinde toplam fosfor değerini en yüksek 1582.3 mg kg⁻¹

¹, en düşük 52 mg kg⁻¹ ve ortalama 555.9 mg kg⁻¹ olarak belirlemiştir. Çalışma kapsamında bulduğumuz sonuçlar literatür ile uyum göstermektedir.

Toprakta toplam fosfor her ne kadar bitkinin ihtiyacı ile kıyaslandığında yüksek gibi görünse de toprakta fosforun önemli kısmı çözünemeyen bileşikler şeklinde fiks olmuş haldedir. Bu sebeple toplam fosforun ancak % 1 veya daha düşük kısmının alınabilir olduğu düşünülmektedir (Brohi vd. 1994). Bu durum tarım topraklarının yarıyışlı fosfor içeriğinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır (Yıldız ve Bilgin 2008). Ayrıca ülkemizin içinde bulunduğu iklim kuşağı, jeolojik yapısı ve coğrafi konumundan dolayı, topraklar yüksek kil, kireç, yüksek pH ve düşük organik madde gibi özelliklerinin (Dinç vd. 1988) etkisi ile fosforun toprakta yarıyışlılığı azalmaktadır (Gallet vd. 2003; Fransson vd. 2003). Olumsuz toprak özelliklerinin bitki beslemeye olan negatif etkisi ile ilgili çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür (Mengel ve Kirkby 1987; Rodriguez vd 2000; Gallet vd 2003; Fransson vd 2003). Bu sebeple fosforlu gübreleme ile ilgili ülkemizde yapılan pek çok çalışma fosforlu gübre uygulamalarının verim artışında önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır (Aksoy1967; Zabunoğlu 1967; Kacar 1964; Ülgen1968).

Ülkemizde tarımsal üretimde yüksek miktarda fosforlu gübre tüketilmektedir (Kacar ve Katkat 1997). Türkiye 2015 yılı içinde 586 bin tonluk fosforlu gübre tüketimi ile dünyada 12. sıradadır. Dünyada toplam fosforlu gübre tüketimi aynı yıl 46454 bin ton olarak gerçekleşmiştir (IFA 2018). Ancak uzmanlar fosforlu gübreye olan bu talebin 60-90 yıl içerisinde yüksek saflıkta bulunan ham fosfat kayası kaynaklarını tüketeceğini söyleyerek uyarılmaktadır (Runge-Metzger 1995; Gahoonia vd. 1999; Vance vd 2003). Fosforlu gübre kullanımında aşırıya kaçılması halinde fosforlu gübrelerin yapısında bulunan Cd, Cr, Ni, Pb ve Cu gibi bazı ağır metallerin de toprakta birikmesi ve bitkiye geçmesi muhtemeldir. Bu durum bitkilerde stres yaratarak bitki gelişimini de olumsuz etkileyebilir (Camelo vd. 1997; Richards, 1998).

Bu noktada arıtma çamurunun tarımsal üretimde kullanımı daha da önem kazanmaktadır. Çünkü fosfor içeriği yüksek olan arıtma çamuru ile toprağa önemli miktarda fosfor kazandırmak mümkündür. Ayrıca toprakta yarattığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik etki ile başta fosfor gibi yarıyışlılığı sınırlı bitki besin elementlerinin de alınımını teşvik etmektedir. Arıtma çamuru güvenli şekilde tarımda kullanımı ile kimyasal gübrelemeyi azaltacağı açıktır. Böylece fosforlu gübreler gibi kaynakları kıt ve pahalı tarımsal girdilerin tüketimi azalırken arıtma çamuru içinde güvenli bertaraf sağlanabilir.

4.2.3. Yetiştirme ortamlarının değişebilir ve toplam potasyum, magnezyum, kalsiyum, sodyum konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının yetiştirme ortamlarının değişebilir ve toplam K, Mg, Ca ve Na içeriğine etkisini belirlemek amacıyla üç farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. Dönem verileri 11.07.2017 tarihinde inkübasyon dönemi sonrasında yapılan toprak örnekleme sonuçlarıdır. 2. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örnekleme sonuçlarıdır. 3. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen

önce yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.7.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum içeriği üzerine etkisi ise % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	166.1e	191,7de	97.3a	147.2a	127.7a	132.7a	130.4C	157.2BC
AÇ ₂	221.6cde	229.5bcde	107.7a	150.3a	113.3a	130.5a	147.5BC	170.1AB
AÇ ₄	229.6bcde	231.6bcde	113.1a	155.6a	98.4a	100.7a	147.0BC	162.6ABC
AÇ ₆	256.3bcd	265.8bc	114.2a	159.4a	97.9a	99.8a	156.1BC	175.0AB
AÇ ₈	296.3ab	337.8a	130.6a	157.7a	91.8a	94.1a	172.9AB	196.5A
Varyans	5.095***		1.259 ^{Ö.D.}		1.466 ^{Ö.D.}			
Ortalama	242.6A		133.3B		108.7C		150.8	172.3
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	2.772**							
Dönem	139.264***							
AÇXDön.	3.076***							

1. Değerler 4 tekrerr ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek değişebilir potasyum içeriğine 196.5 mg kg⁻¹ ile AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük değişebilir potasyum değerine de 130.4 mg kg⁻¹ olarak AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın değişebilir potasyum içeriğinin arttığı, bu artışın sınırlı ancak istatistiki açıdan önem arz edecek düzeyde olduğu görülmektedir. Bu düzenli artışa küçük de olsa istisna olabilecek AÇ₂ dozundan AÇ₄ dozuna geçişteki değerler gösterilebilir. Ancak bu durum KGØ için istatistiksel olarak önemsiz, KG+ içinse çok küçük önem düzeyinde bulunmuştur. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarındaki değişebilir potasyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, arıtma çamuru uygulamalarının artan dozlarda uygulanması ile değişebilir potasyum içeriğindeki yükselişi teşvik etme yönündedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler incelendiğinde, uygulamaların birinci dönem içinde en yüksek etkiyi yaptığını görüyoruz. Bu etki dönemler ortalamasında gözlenen genel trendle aynı paralellikte ve hatta daha güçlü şekilde ortaya çıkmıştır. İkinci dönemde uygulamaların değişebilir potasyum içeriği üzerine etkisinin azaldığını, üçüncü

dönemde ise bu etkinin tersine dönerek yüksek uygulamalarda daha düşük değişebilir potasyum içeriğine rastlanması ile sonuçlandığı görülmektedir. Ayrıca ikinci ve üçüncü dönemde uygulamaların yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum içeriğine olan etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Böylece dönem ortalamasında gözlediğimiz değişimin daha çok birinci dönemden kaynaklandığını, ikinci dönemin genel ortalamaya yakın seyrettiğini ancak üçüncü dönemde durumun tersine döndüğünü söylemek yanlış olmaz. Çim bitkileri için toprakta ideal kabul edilen değişebilir potasyum içeriği 200-300 mg kg⁻¹ dır. AÇ₀ uygulamaları dışında birinci dönem deneme konularının tamamında tespit edilen değerler bu aralıkta bulunurken ikinci ve üçüncü dönemde tespit edilen değerlerin hiçbirinin bu aralığa girememesi dikkat çekicidir. Bu durum yetiştiricilik dönemi boyunca bitkinin topraktan kaldırdığı potasyumu uygulamalar ile toprağa geri veremediğimizi göstermektedir.

Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın değişebilir potasyum içeriği 244.1 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminde elde edilen değerler ayrı ayrı kıyaslandığında başlangıç toprağının değişebilir potasyum değerinin her üç dönemde tespit edilen değişebilir potasyum değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum içeriğine etkisinin topraktan kaldırılan potasyumun yerine konmasını sağlayabilecek düzeyde olmadığı düşünülmektedir. Ayrıca yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum içeriğinin zamanla düştüğü görülmektedir. Bu düşüş dikkate değer düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli ve anlamlıdır. Toprağın bünyesinin killi tın olduğu göz önünde bulundurulursa uygulamalar ile toprağa verilen potasyumun bir kısmının fiksasyona uğramış olduğu düşünülmektedir.

Deneme toprağının değişebilir potasyum durumu Pizer (1967)'ye göre 244.1 mg kg⁻¹ ile “orta” düzeyde sınıflandırılmıştır. Birinci dönem yapılan örneklemede AÇ₀KG+ konusunda 337.8 mg kg⁻¹ ile denemedeki en yüksek değişebilir potasyum konsantrasyonu tespit edilmiştir. Aydın vd. (2008)'in yaptığı çalışmada incelenen toprakların değişebilir potasyum değerleri 34-498 mg kg⁻¹ arasında değiştiği bildirilmiştir. Özdoğan ve Seferoğlu (2015) tarafından yapılan çalışmada Aşağı Büyük Menderes havzasında toprakların değişebilir potasyum değerleri Pizer (1967)'e göre sınıflandırıldığında arazilerin % 28.20'si çok düşük, % 41.03'ü düşük, % 10.26'sı orta, % 12.82'si yüksek ve % 7.69'u çok yüksek olarak belirlenmiştir. Ayrıca değerlerin 46.76-449.10 mg kg⁻¹ arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu konuda tespit edilen değer, kontrol toprağına göre Pizer (1967) sınıflandırmasında iki sınıf atlayarak “çok yüksek” olarak sınıflandırılmıştır. Ancak aynı parselde üçüncü dönemde yapılan örneklemede değişebilir potasyum değeri 94.1 mg kg⁻¹ tespit edilerek Pizer (1967)'ye göre “çok düşük” olarak sınıflandırılmıştır. Yüksek arıtma çamuru uygulamalarında ilerleyen yetiştirme döneminde karşılaşılan bu durum araziden kaldırılan potasyumun yapılan uygulamalar ile desteklenemediğini göstermektedir. Kaldırılan potasyumu toprağa geri kazandırmada uygulanan kimyasal gübrelere yeterli olmadığı açıktır. Sommers ve Nelson (1978) bildirdiğine göre arıtma çamurları önemli miktarda azot ve fosfor içerseler de potasyumca fakir materyallerdir. Bozkurt vd. (2000)'e göre arıtma çamuru uygulamalarının toprağın potasyum kapsamına etkisi önemsizdir. Bu sebeple rulo çim yetiştiriciliğinde arıtma çamuru uygulamalarının potasyum gübrelemesi ile

desteklenmesi gerekebilir. Bitkide potasyum sonuçları tartışılırken bu konu tekrar ele alınacaktır.

Çizelge 4.8.'de görüldüğü üzere örneklemme döneminin yetiştirme ortamlarının toplam potasyum içeriği üzerine etkisi % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ve arıtma çamuru uygulamaları ile örneklemme dönemi arasındaki etkileşimin yetiştirme ortamlarının toplam potasyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.8. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam potasyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	1940a	1951a	1752a	1861a	1628a	1696a	1773A	1836A
AÇ ₂	1900a	2158a	1699a	1698a	1567a	1675a	1722A	1843A
AÇ ₄	1878a	1834a	1507a	1550a	1429a	1458a	1605A	1614A
AÇ ₆	2014a	2201a	1888a	1752a	1633a	1581a	1875A	1844A
AÇ ₈	2180a	2019a	1862a	1668a	1638a	1488a	1893A	1725A
Varyans	0.596 ^{Ö.D.}		0.765 ^{Ö.D.}		0.360 ^{Ö.D.}			
Ortalama	2016A		1724B		1579C		1774	1772
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	1.282 ^{Ö.D.}							
Dönem	19.561***							
AÇXDön.	0.213 ^{Ö.D.}							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının ve kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam potasyum içeriğine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalamasında elde edilen istatistiksel sonuç ile uyumlu olduğu görülmektedir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemde toprağın toplam potasyum içeriği 2033 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Her bir örneklemme döneminde elde edilen değerler ayrı ayrı kıyaslandığında başlangıç toprağının toplam potasyum değerinin her üç dönemde tespit edilen değerlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca yetiştirme ortamlarının toplam potasyum içeriğinin zamanla düştüğü her bir örneklemme dönemlerinde elde edilen değerler bir birleri ile kıyaslandığında net şekilde görülmektedir. Bu düşüş dikkate değer düzeydedir. Ayrıca istatistiksel açıdan önemli ve anlamlıdır.

Deneme toprağının toplam potasyum içeriği 2033 mg kg^{-1} olarak tespit edilirken arıtma çamurunun toplam potasyum içeriği 4955 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere iki değer bir birine oldukça yakındır. Bu durum uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam potasyum içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz çıkmasını da açıklar niteliktedir. Arıtma çamurunun en yüksek dozda bile toprağın % 3.2'si kadar uygulandığını da göz önünde bulundurduğumuzda arıtma

çamuru uygulamaları ile azot ve fosforda gözlediğimiz olumlu etkiyi neden potasyumda gözleyemediğimiz daha iyi açıklanabilir. Bu durum bize arıtma çamuru uygulamalarının potasyum gübrelemesi ile desteklenmesine gerek olabileceğini bir kez daha hatırlatmaktadır. Özgür (2019)'un bildirdiğine göre arıtma çamuru uygulanmış toprakta silajlık mısır yetiştiriciliğinde potasyum gübrelemesi mısırdaki verim ve kalite için gereklidir.

Çizelge 4.9.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örneklem dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki etkileşimin yetiştirme ortamlarının değişebilir kalsiyum içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.9. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının değişebilir kalsiyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	4663a	5152a	1627b	3845a	3655d	4634abc	3315C	4544AB
AÇ ₂	4717a	4714a	1806b	4178a	4191c	5077a	3571C	4656A
AÇ ₄	4979a	4973a	3641a	4036a	4190c	4338bc	4270B	4449AB
AÇ ₆	4887a	4937a	3702a	3693a	4692abc	4902ab	4427AB	4511AB
AÇ ₈	4790a	4745a	3891a	3827a	4769ab	4657abc	4483AB	4410AB
Varyans	0.482 ^{Ö.D.}		20.882***		5.740***			
Ortalama	4855A		4510B		3425C		4013	4514
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	14.930***							
Dönem	138.436***							
AÇXDön.	5.417***							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek değişebilir kalsiyum içeriğine 4656 mg kg^{-1} olarak AÇ₂KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük değişebilir kalsiyum değerine de 3315 mg kg^{-1} olarak AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde arıtma çamuru uygulamalarının kimyasal gübre uygulaması yapılmayan konularda yetiştirme ortamlarının değişebilir kalsiyum içeriği üzerinde önemli artışa neden olduğu görülmüştür. Bu artış istatistiksel açıdan önemli olarak tespit edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamasının yapıldığı konularda ise artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının değişebilir kalsiyum içeriği üzerinde düzenli bir trend oluşturacak etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Bu konularda en düşük değişebilir kalsiyum değerine AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en yüksek değere AÇ₂KG+ uygulamasında rastlanmıştır. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarının değişebilir kalsiyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre değişebilir kalsiyum içeriğini arttırdığı görülmüştür. Ancak bu etki AÇ₄ ve AÇ₈ arıtma çamuru uygulama dozlarında istatistik açıdan önemsizdir. Her bir dönem için ayrı ayrı

yapılan istatistiki değerlendirmeler incelendiğinde uygulamaların birinci dönem için etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir. İkinci ve üçüncü dönemler için uygulamalar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ancak bu dönem için de elde edilen verilerden anlamlı bir sonuca varmak mümkün olmamıştır. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın değişebilir kalsiyum içeriği 4880 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminde elde edilen değerler ayrı ayrı kıyaslandığında başlangıç toprağının değişebilir kalsiyum değerinin her üç dönemde tespit edilen değişebilir kalsiyum değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca her bir örnekleme döneminde elde edilen değerler bir birleri ile kıyaslandığında yetiştirme ortamlarının değişebilir kalsiyum içeriğinin zamanla düştüğü net şekilde görülmektedir. Bu düşüş dikkate değer düzeydedir. Ayrıca istatistiksel açıdan önemli ve anlamlıdır.

Deneme toprağının değişebilir kalsiyum durumu Loue (1968)'e göre 4880 mg kg^{-1} ile “yüksek” düzeyde sınıflandırılmıştır. Aydın vd. (2008)'in yaptığı çalışmada vadi topraklarının değişebilir kalsiyum içeriklerinin $905\text{-}4621 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değiştiği bildirilmiştir. Özdoğan ve Seferoğlu (2015) tarafından yapılan çalışmada Aşağı Büyük Menderes havzasında toprakların değişebilir kalsiyum değerleri Loue (1968)'e göre sınıflandırıldığında arazilerin % 5.13'ü düşük, % 20.51'i orta ve % 74.36'sı yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca değerlerin $1348\text{-}4640 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değiştiği belirtilmiştir. Pinamonti vd. (1997) bildirdiğine göre toprağa arıtma çamuru ilavesi ile azot ve alınabilir fosfor içeriğinde önemli artış gözlenirken değişebilir potasyum, değişebilir kalsiyum ve değişebilir magnezyum içeriğinde kayda değer bir değişim olmamıştır. Gaynor ve Halstead (1976) kumlu tın ve killi bünyeli toprağa arıtma çamuru ilavesi ile toprağın pH, fosfor ve değişebilir kalsiyum miktarlarının arttığını bildirmişlerdir. Lopez-Mosquera vd. (2000) bildirdiğine göre arıtma çamuru uygulamalarının dört yıl süreyle çayır mera topraklarına uygulanması ile gerçekleştirdikleri çalışmada kontrol toprağına göre fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriklerinde artış tespit etmişlerdir. Bozkurt vd. (2000) toprağına arıtma çamuru ilavesi ile toprakların alınabilir fosfor, değişebilir potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriğinde önemli bir fark gözlenmediğini bildirmişlerdir. Görüldüğü gibi toprağına arıtma çamuru uygulaması ile toprağın değişebilir kalsiyum içeriği ile ilgili bulgular çeşitlidir. Bu durumun temel sebebinin arıtma çamuru uygulaması ile toprağın değişebilir kalsiyum içeriğinde meydana gelen etkinin çok güçlü olmaması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca arıtma çamuru ve toprağın fiziksel özellikleri de sonuç üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bulunan değerlerin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.10.'da görüldüğü üzere örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının toplam kalsiyum içeriği üzerine etkisi % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksyonun yetiştirme ortamlarının toplam kalsiyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Dönemler ortalaması incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının ve kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam kalsiyum içeriğine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler de dönemler ortalaması ile uyum göstermiş ve istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam kalsiyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	134975a	129350a	138350a	133625a	135675a	143800a	136333AB	135592AB
AÇ ₂	137950a	120100a	132800a	125525a	137950a	141550a	136233AB	129058B
AÇ ₄	140875a	142525a	139675a	139000a	145700a	155025a	142083AB	145516A
AÇ ₆	126750a	134475a	129400a	132675a	132450a	147625a	129533B	138258AB
AÇ ₈	129025a	141275a	132525a	136200a	133850a	148875a	131800B	142116AB
Varyans	1.047 ^{O.D.}		0.366 ^{O.D.}		1.033 ^{O.D.}			
Ortalama	133730B		133977B		142250A		135196	138108
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	1.743 ^{O.D.}							
Dönem	4.492*							
AÇXDön.	0.338 ^{O.D.}							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Deneme konularının araziye uygulanmasından önce alınan toprak örneğinin toplam kalsiyum içeriği $132120 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminde elde edilen değerlere bakıldığında başlangıç toprağının toplam kalsiyum değerinin her üç dönemde tespit edilen toplam kalsiyum değerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Dönemler kıyaslandığında birinci ve ikinci dönemdeki değerlerin toprağın başlangıç toplam kalsiyum içeriğine oldukça yakın olduğu ve iki dönemin istatistiksel olarak aynı harfle ifade edildiği görülmektedir. En yüksek toplam kalsiyum içeriğine üçüncü örnekleme döneminde rastlanmaktadır. Bu dönemde toplam kalsiyum içeriğinde gözlenen artış dikkate değer düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.

Deneme toprağının toplam kalsiyum içeriği $132120 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak tespit edilirken arıtma çamurunun toplam kalsiyum içeriği 55670 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Arıtma çamurlarının stabilizasyonu aşamasında kireç ilavesi yapılmaktadır. İlave edilen kireç miktarı kuru maddenin % 30'unu bulabilir (Filibeli 2002). Arıtma çamurundaki kalsiyumun önemli kaynağı eklenen bu kireçtir. Ancak görüldüğü üzere arıtma çamurunun toplam kalsiyum içeriği yinede toprağın toplam kalsiyum içeriğine göre oldukça düşüktür. Bu durum uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam kalsiyum içeriği üzerinde istatistiksel olarak önemli etki göstermemesi hakkında fikir vermektedir. Ayrıca uygulamaların alınabilir kalsiyum ve bitkisel materyallerde tespit edilen kalsiyum üzerinde neden olduğu etkininde toprağa ilave edilen kalsiyum ile açıklanması zordur. Bu etkinin arkasında kimyasal gübre uygulamaları ile arıtma çamurunun toprak üzerindeki ıslah edici etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.11.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulaması ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının değişebilir magnezyum içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.11. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının değişebilir magnezyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	126.8b	138.7ab	42.0d	154.3bc	137.0d	170.6cd	101.9F	154.5D
AÇ ₂	153.5ab	168.1ab	37.7d	180.2ab	197.9bc	216.9abc	130.0E	188.4ABC
AÇ ₄	162.5ab	156.8ab	124.9c	171.3ab	183.6cd	183.1cd	157.0D	170.4CD
AÇ ₆	173.9a	170.7ab	193.6ab	176.3ab	253.3ab	202.4abc	206.9AB	183.1BC
AÇ ₈	179.7a	164.8ab	195.8a	182.8ab	260.7a	220.0abc	212.1A	189.2ABC
Varyans	1.494 ^{0.D.}		22.302***		4.086**			
Ortalama	159.5B		146.0C		202.5A		161.6	177.1
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	15.720***							
Dönem	38.602***							
AÇXDön.	3.608***							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek değişebilir magnezyum içeriğine 212.1 mg kg^{-1} olarak AÇ₈KGØ uygulamasında rastlanırken en düşük değişebilir magnezyum değerine de 101.9 mg kg^{-1} olarak AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın değişebilir magnezyum içeriğinin arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek şekilde görülmektedir. Bu düzenli artışa tek istisna AÇ₂KG+ konusudur. Bu konuda elde edilen değer dışında artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru uygulamaları ile gözlenen yükseliş trendini bozan başka bir konuya KGØ konuları da dahil olmak üzere rastlanmamaktadır. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarının değişebilir magnezyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin yetiştirme ortamlarının değişebilir magnezyum içeriğine sınırlı da olsa etkisi olduğu görülmüştür. Bu etki AÇ₄ dozu arıtma çamuru uygulamalarına kadar kimyasal gübre uygulaması yapılan parsellerin kimyasal gübre uygulaması yapılmayan parsellere göre bir miktar daha yüksek değer alması ve istatistiksel olarak farklı harflendirilmesi şeklinde gözlenmiştir. Ancak AÇ₆ ve AÇ₈ dozu arıtma çamuru uygulamalarında bu etki görülmemiş kimyasal gübre uygulanmayan konular uygulananlara göre daha yüksek tespit edilmiştir. Bu durum çalışmada tespit edilen en yüksek değişebilir magnezyum değerlerinden ilk ikisine sırasıyla AÇ₈KGØ ve AÇ₆KGØ konularında rastlanmasına neden olurken en yüksek üçüncü değişebilir magnezyum değeri AÇ₈KG+ konusunda tespit edilmiştir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler incelendiğinde, uygulamaların etkisinin birinci dönemde istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür. Ancak ikinci ve üçüncü örneklem döneminde, dönemler ortalamasına benzer değişim görülmüştür. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın değişebilir magnezyum içeriği 134.4 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Her bir örneklem döneminde elde edilen değerlere bakıldığında başlangıç toprağının değişebilir magnezyum içeriğinin her üç döneme göre de daha düşük olduğu görülmektedir. Dönemler kıyaslandığında en

yüksek değişebilir magnezyum içeriğine üçüncü örnekleme döneminde rastlanmaktadır. Bu dönemde değişebilir magnezyum içeriğinde gözlenen artış dikkate değer düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. Aydın vd. (2008)'in bildirdiğine göre vadi topraklarında yapılan çalışmada değişebilir magnezyum içeriklerinin 905-4621 mg kg⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Özdoğan ve Seferoğlu (2015) tarafından yapılan çalışmada Aşağı Büyük Menderes havzasında toprakların değişebilir kalsiyum değerleri Loue (1968)'e göre sınıflandırıldığında arazilerin % 2.56'sı düşük, % 7.69'u orta, % 28.21'i yüksek ve % 61.54'ü çok yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca değerlerin 66.65–1531.48 mg kg⁻¹ arasında değiştiği belirtilmiştir. Yaptığımız çalışmada deneme toprağının değişebilir magnezyum durumu Loue (1968)'e göre 134.4 mg kg⁻¹ ile “orta” düzeyde sınıflandırılmıştır. Bulunan değerlerin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Lopez-Mosquera vd. (2000) tarafında dört yıl boyunca sürdürülen denemede tekrarlı arıtma çamuru uygulaması ile çayır mera topraklarının magnezyum içeriklerinde artış kaydedildiği ve verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda bu artışın kontrole göre önemli olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde Bozkurt vd. (2000)'in yaptıkları çalışmada arıtma çamuru ilavesi ile toprakların magnezyum içeriğinde önemli değişimlere rastlandığı bildirilmiştir.

Çizelge 4.12.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları ve örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının toplam magnezyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının toplam magnezyum içeriği üzerine etkisi ise % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.12. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam magnezyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	2947a	2957a	3527abc	3786ab	2463a	2431a	2967BCDE	3058ABCD
AÇ ₂	3112a	3251a	3898ab	4113a	2585a	2774a	3198ABC	3379A
AÇ ₄	3074a	3057a	4134a	2686d	2525a	2373a	3244AB	2705E
AÇ ₆	3070a	3226a	3951ab	2889cd	2681a	2417a	3234AB	2844DE
AÇ ₈	3205a	2838a	4098a	3206bcd	2570a	2618a	3291AB	2887CDE
Varyans	1.132 ^{0.D.}		4.208**		0.963 ^{0.D.}			
Ortalama	3073B		3629A		2540C		3187	2975
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	4.451***							
Dönem	88.938***							
AÇXDön.	2.518**							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek toplam magnezyum içeriğine 3379 mg kg⁻¹ olarak AÇ₂KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük toplam magnezyum değerine de 2705 mg kg⁻¹ olarak AÇ₄KG+ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde arıtma çamuru uygulamalarının kimyasal

gübre uygulaması yapılmayan konularda yetiştirme ortamlarının toplam magnezyum içeriğinde bir miktar artış sağladığı ve bu artışın istatistiksel açıdan düşük önem düzeyinde tespit edildiği görülmüştür. Kimyasal gübre uygulaması yapılan konularda ise artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının toplam magnezyum içeriği üzerinde düzenli bir trend oluşturabilecek etkide olmadığı tespit edilmiştir. Bu konularda en düşük toplam magnezyum değerine AÇ₄KG+ uygulamasında rastlanırken en yüksek değere AÇ₂KG+ uygulamasında rastlanmıştır.

Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam magnezyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre AÇ₀ ve AÇ₂ konularında toplam magnezyum içeriğini arttırdığı görülmüştür. Diğer konularda ise kimyasal gübre uygulanması yapılmayan konularda değerler daha yüksek bulunmuştur. Bu durum kimyasal gübre uygulamalarının toplam magnezyum içeriği üzerine etkisini genel bir şekilde yorumlanmasını engellemektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler incelendiğinde, uygulamaların birinci ve üçüncü dönem için istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. İkinci dönem için uygulamalar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ancak bu dönem için de elde edilen verilerden anlamlı bir sonuca varılamamıştır. Deneme toprağının toplam magnezyum içeriği 3069 mg kg⁻¹ olarak tespit edilirken arıtma çamurunun toplam magnezyum içeriği 6703 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere arıtma çamurunun toplam magnezyum içeriği toprağa nazaran çok da yüksek değildir. Bu durum uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam magnezyum içeriği üzerinde arttırıcı etkisinin matematiksel olarak çok mümkün olmadığını göstermektedir. Her bir örnekleme döneminde elde edilen değerler incelendiğinde başlangıç toprağının toplam magnezyum değerinin birinci ve ikinci dönem değerlerinden düşük, üçüncü dönem değerinden ise yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca birinci dönem toplam magnezyum değerinin toprağın başlangıç örnekleme değerlerine oldukça yakındır. İkinci dönem örneklemesinde elde edilen değerler toplam magnezyum içeriğinde önemli bir yükselişi işaret ederken; üçüncü dönem değerinde ise toplam magnezyum değeri önemli ölçüde düşerek toprağın başlangıç seviyesinin bile altına inmiştir.

Toprağın sahip olduğu değişebilir magnezyum iyonu yaklaşık olarak toplam magnezyum içeriğinin % 5'i civarındadır. Görüldüğü gibi toprağın ihtiva ettiği magnezyumun çok büyük bir bölümü değişmez formdadır. Değişmez formdaki magnezyum bitkinin magnezyum beslenmesi açısından ihmal edilebilir önemde olduğu için toplam magnezyum içeriği magnezyum beslemesi ile ilgili yorum yapmak için tek başına yeterli değildir (Aktaş 1994).

Çizelge 4.13.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları ve örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının değişebilir sodyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksyonun yetiştirme ortamlarının değişebilir sodyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının değişebilir sodyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	23.64bc	20.80c	7.95d	12.63cd	10.93bc	11.54bc	14.17E	14.99DE
AÇ ₂	24.32bc	23.72bc	9.23d	18.02bc	7.82c	9.27c	13.79E	17.00CDE
AÇ ₄	30.02abc	29.41bc	10.67d	18.35b	7.86c	15.77ab	16.18CDE	21.17BC
AÇ ₆	33.99abc	39.03ab	18.53b	20.63ab	7.78c	17.21a	20.10CD	25.62AB
AÇ ₈	38.65ab	45.24a	24.62a	26.10a	17.99a	20.01a	27.09A	30.45A
Varyans	2.820*		11.335***		7.034***			
Ortalama	30.88A		16.67B		12.62C		18.27	21.85
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	10.429***							
Dönem	91.769***							
AÇXDön.	1.173 ^{0.D}							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek değişebilir sodyum değerine 30.45 mg kg^{-1} olarak AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük değişebilir sodyum değerine de 13.79 mg kg^{-1} olarak AÇ₂KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının değişebilir sodyum içeriğinin düzenli olarak arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek şekilde görülmektedir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının değişebilir sodyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarında değişebilir sodyum içeriğindeki artışı teşvik eder yöndedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalamasında elde edilen istatistiksel sonuç ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın değişebilir sodyum içeriği 12.12 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminin ortalama değişebilir sodyum değerine bakıldığında başlangıç toprağının değişebilir sodyum değerinin her üç dönemde de tespit edilen değişebilir sodyum değerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca her bir örnekleme döneminde elde edilen değerler bir birleri ile kıyaslandığında yetiştirme ortamlarının değişebilir sodyum içeriğinin zamanla düştüğü net şekilde görülmektedir. Yani başlangıç toprağı en düşük değişebilir sodyum değerine sahipken uygulamaların etkisi yetiştirme ortamlarının değişebilir sodyum içeriğini arttırmış ve birinci örnekleme döneminde çalışmada tespit edilen en yüksek değere ulaşmıştır. Bu değer ikinci ve üçüncü örnekleme dönemlerinde düzenli ve dikkate değer düzeyde düştüğü görülmektedir. Ayrıca gözlenen bu trend istatistiksel açıdan önemli ve anlamlıdır. Ancak üçüncü örnekleme döneminde bile tespit edilen değer başlangıç toprağının değişebilir sodyum içeriğinden az da olsa yüksek bulunmuştur. Aydın vd. (2008)

bildirdiğine göre vadi topraklarının değişebilir sodyum içerikleri 20-419 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir. Özdoğan ve Seferoğlu (2015) tarafından yapılan çalışmada Aşağı Büyük Menderes havzasında toprakların değişebilir sodyum değerleri Loue (1968)'e göre sınıflandırıldığında arazilerin % 10.25'i çok düşük, % 41.03'ü düşük, % 41.03'ü orta ve % 7.69'u ise yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca değerlerin toprakta tespit edilen değişebilir sodyum değerlerinin 25.1-287.5 mg kg⁻¹ arasında değiştiği belirtilmiştir. Yaptığımız çalışmada deneme toprağının değişebilir sodyum durumu Loue (1968)'e göre 12.12 mg kg⁻¹ ile “çok düşük” düzeyde sınıflandırılmıştır. Toprağın sodyum değerinin düşük olması tarımsal üretimde istenen bir özelliktir. Toprak verimliliğini tehdit eden en önemli konulardan biri değişebilir katyonlar içerisinde sodyumun artışıdır. Sodyum artışının toprağın fiziksel özelliklerinde neden olduğu bozulma neticesinde bitki gelişimi büyük ölçüde zarar görür (Gupta vd. 1989). Sıklıkla hatalı sulama gibi insan aktivitelerinden kaynaklanan toprakta sodyum artışına (Szabolcs 1992) hatalı gübreleme de neden olabilir. Hatalı gübrelemenin toprakta neden olduğu başta tuzluluk gibi pek çok sorun çok sayıda çalışmada işlenmiştir (Kaplan vd. 1998; Kaplan ve Sönmez 2001). Çalışmada tespit edilen EC değerleri bu başlık altında irdelenmiş ve bu değerlerin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar sodyum değerleri ile uyum göstermektedir. Çalışmada toprağa uygulanan arıtma çamuru neticesinde toprağın sodyum içeriği ile ilgili endişe verici bir sonuca rastlanmamıştır.

Çizelge 4.14.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam sodyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının toplam sodyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.14. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam sodyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	179ab	156abc	91c	170a	118b	146ab	129BCD	157A
AÇ ₂	188ab	112de	33d	176a	123ab	157a	115D	148AB
AÇ ₄	183ab	78e	107c	150a	122b	145ab	137ABC	124CD
AÇ ₆	149bcd	125cd	105c	158a	127ab	129ab	127CD	137ABC
AÇ ₈	127cd	191a	141ab	115bc	150ab	128b	140ABC	141ABC
Varyans	9.197***		15.599***		2.059 ^{Ö.D.}			
Ortalama	149A		125B		133B		130	141
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	3.513**							
Dönem	11.847***							
AÇXDön.	12.123***							

1. Değerler 4 tekrarı ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek toplam sodyum değerine 157 mg kg⁻¹ olarak AÇ₀KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük toplam sodyum değerine de 115 mg kg⁻¹ olarak AÇ₂KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde

artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam sodyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak sınırlı da olsa önemli bulunmuştur. Ancak değerler anlamlı bir trend oluşturmamaktadır. Kimyasal gübre uygulamalarının toplam sodyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre, AÇ₄ konuları istisna olmak üzere, daha yüksek toplam sodyum içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler ve dönem içi verilerin incelenmesi de dönemler ortalamasında elde edilen sonuçlar ile uyumludur. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın toplam sodyum içeriği 189 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme dönemi için ayrı ayrı hesaplanan ortalama toplam sodyum değerlerine bakıldığında başlangıç toprağının toplam sodyum değerinin her üç dönemde de tespit edilen toplam sodyum değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca her bir örnekleme döneminde elde edilen değerler birbirleri ile kıyaslandığında en yüksek değere birinci örnekleme döneminde rastlanmıştır. İkinci ve üçüncü örnekleme döneminde birinci örnekleme dönemine göre değerler daha düşük olmakla beraber bu iki dönem arasında istatistiksel bir farka rastlanmamıştır.

Deneme toprağının toplam sodyum içeriği 189 mg kg⁻¹ olarak tespit edilirken arıtma çamurunun toplam sodyum içeriği 1318 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere arıtma çamurunun toplam sodyum içeriği toprağa nazaran oldukça yüksektir. Arıtma çamuru % 0.13 sodyum içermektedir. Ancak sonuçlara baktığımızda toprağın sodyum içeriğinde bir artış gözlenmemektedir. Toprağın sodyum içeriğinin çok düşük olmasından dolayı arıtma çamurunun toplam sodyum içeriği ile olan oransal fark büyük görünmektedir. Bu durum ilk bakışta risk algısı yaratmaktadır. Ancak uygulamalar ile toprağa verilen sodyum risk oluşturacak nicelikte değildir. Ayrıca çim sahanın düzenli sulanması ile mevcut sodyum katyonlarının profil boyunca daha derinlere yıkanmış olduğu düşünülmektedir.

4.3. Yetiştirme Ortamlarının Alınabilir ve Toplam Mikro Element Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının yetiştirme ortamlarının alınabilir ve toplam mikro element içeriğine etkisini belirlemek amacıyla üç farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. Dönem verileri 11.07.2017 tarihinde inkübasyon dönemi sonrasında yapılan toprak örnekleme sonuçlarıdır. 2. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örnekleme sonuçlarıdır. 3. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örnekleme sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.15.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının alınabilir demir içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.15. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir demir (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	3.43d	2.91d	4.54c	4.35c	5.21d	5.00d	4.39E	4.09E
AÇ ₂	7.99c	7.65c	13.58b	12.66b	15.60c	13.31cd	12.39D	11.21D
AÇ ₄	10.09bc	9.93bc	14.81ab	13.76b	20.47bc	19.95bc	15.12CD	14.54CD
AÇ ₆	10.83bc	10.67bc	19.02ab	17.99ab	30.37ab	22.50bc	20.07B	17.05BC
AÇ ₈	13.01b	17.90a	26.66a	21.22a	38.85a	39.55a	24.51A	26.23A
Varyans	9.309***		7.039***		13.359***			
Ortalama	9.44C		14.36B		21.08A		15.30	14.62
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	26.888***							
Dönem	55.130***							
AÇXDön.	3.215***							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek alınabilir demir değerine 26.23 mg kg^{-1} olarak AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük demir değerine de 4.09 mg kg^{-1} olarak AÇ₀KG+ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının alınabilir demir içeriğinin düzenli şekilde arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek düzeyde görülmektedir. Kimyasal gübre uygulamalarının alınabilir demir içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir. Ancak AÇ₈ konuları istisna olmak üzere KGØ konularında KG+ konularına göre az farkla daha yüksek alınabilir demir içeriği tespit edilmiştir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve genel eğilime uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın alınabilir demir içeriği 4.26 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminin ortalama alınabilir demir içeriği dikkate alındığında toprağın başlangıç değerine göre alınabilir demir içeriğinin arttığı açıkça görülmektedir. Her bir örnekleme döneminde bir önceki döneme göre daha yüksek alınabilir demir içeriği tespit edilerek en yüksek değere üçüncü örnekleme döneminde ulaşılmıştır. Bu artış istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur.

Deneme öncesi arazide yapılan örneklemede alınabilir demir durumu Loue (1986)'ya göre 4.26 mg kg^{-1} ile "noksan" olarak sınıflandırılmıştır. Dönemler ortalamasındaki alınabilir demir değerleri sınıflandırıldığında AÇ₀ dozları "yüksek riskli"; AÇ₂, AÇ₄ dozları ve AÇ₆KG+ dozu "az da olsa noksanlık riski var" ve AÇ₆ ve AÇ₈ dozları ise "yeterli" olarak sınıflandırıldığını görüyoruz. Veriler incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının toprağın alınabilir demir içeriğini güçlü şekilde arttırdığını görmekteyiz. Dönemler ayrı ayrı incelendiğinde ise önemli bir nokta göze çarpmaktadır. Arıtma çamuru uygulaması sadece denemenin kurulum aşamasında bir defa uygulanmasına rağmen zaman içinde alınabilir demir içeriğindeki artış önemli ve düzenli şekilde sürmüştür. Özetlemek gerekirse birinci dönem tüm uygulamalar

“yüksek riskli” veya “az da olsa noksanlık riski var” şeklinde sınıflandırılırken ikinci dönemde AÇ₈ konularının alınabilir demir değerleri yükselerek “yeterli” sınıfına girmiştir. Üçüncü örnekleme döneminde ise AÇ₄ ve AÇ₆ konuları da dahil olmuşlar ve AÇ₈ konusu ile beraber “yeterli” olarak sınıflandırılmışlardır.

Arıtma çamurunun toprağa uygulaması ile alınabilir demir içeriğinde artış sağlandığını bilinmektedir. Bu artışa arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriğinin toprakta şelatör maddelere dönüşerek minerallerin çözünürlüğünü arttırması büyük rol oynamaktadır (Madrid 2003). Loue (1986)’ın bildirdiğine göre demir hidrate oksitlerin çözünürlüğü önemli ölçüde toprak pH’sına bağlıdır. Toprak pH’sı 6’nın üzerine çıktıkça çözünebilir demir miktarı azalmaktadır. Şendemirci ve Korkmaz (2008)’in bildirdiğine göre toprağın kum, pH, kireç ve organik madde gibi özellikleri alınabilir demir içeriği ve dolayısıyla demir beslenmesi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Beş farklı ilde toplam 46 toprak örneği ile yaptıkları çalışmada % 1’in altında kireç kapsayan toprak grubuna ait örneklerin % 4’ü demir noksanlığı yönünden yüksek riskli, % 12’si az riskli bulunmuş, % 84’ü ise bitkiye yarayışlı demir yönünden yeterli bulunmuştur. % 1–5 arası kireç kapsayan toprak grubuna ait örneklerin % 60’ı demir noksanlığı yönünden az riskli bulunmuş, % 40’ı ise bitkiye yarayışlı demir yönünden yeterli bulunmuştur. % 1–5 arası kireç kapsayan toprak grubunda demir noksanlığı yönünden yüksek risk taşıyan toprak örneğine rastlanmamıştır. % 5–15 arası kireç kapsayan toprak grubuna ait örneklerin % 50’si demir noksanlığı yönünden yüksek riskli, % 33.3’ü az riskli bulunmuş % 16.7’si ise bitkiye yarayışlı demir yönünden yeterli bulunmuştur. % 15–25 arası kireç kapsayan toprak grubuna ait örneklerin ise % 75’i demir noksanlığı yönünden yüksek riskli, % 25’i az riskli bulunmuştur. % 15–25 arası kireç kapsayan toprak grubuna ait örnekler arasında bitkiye yarayışlı demir yönünden yeterli toprak örneğine rastlanmamıştır. Toprakların kireç kapsamı arttıkça demir noksanlığı yönünden yüksek risk taşıyan toprakların da arttığını tespit etmişlerdir. Eyüpoğlu (1998)’in bildirdiğine göre Türkiye topraklarının % 26.87’sinin yarayışlı demir kapsamı 4.5 mg kg⁻¹ den az ve bitkiler için noksanlık riski yüksektir. Ayrıca ülkemizde alkali tepkimeli toprakların yaygın olduğunu bu durumun demir noksanlığına yol açtığını, toprağın pH’ sı ve kireç kapsamı arttıkça yarayışlı demir kapsamının azaldığını bildirmişlerdir. Ülkemizin içinde bulunduğu iklim kuşağının topraklarımızın organik madde içeriğini sınırlandırdığı bu durumda toprakların alınabilir demir içeriği için olumsuz faktör olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacı demir eksikliğinin en fazla rastlandığı toprakları regosol, kırmızı akdeniz, kahverengi, gri kahverengi, podzolik ve koluviyal büyük toprak gruplarında olduğunu da belirtmiştir. Ülkemizde demir gübrelemesinin gerekliliğini hatırlatmıştır. Kırmızı akdeniz toprak tipi olan deneme arazimiz Evliya (1960)’a göre % 46 kireç içeriği ile “aşırı kireçli” sınıfındadır. Diğer toprak özellikleri de kireç içeriği gibi demir beslenmesini olumsuz etkiler yöndedir. Bu olumsuz şartlarda bile arıtma çamuru uygulaması ile alınabilir demir içeriğindeki artış dikkat çekici ve materyalin kullanımı ile ilgili ümit vericidir. Çalışma sonuçları ile uyumlu çok sayıda literatüre rastlanmıştır. Bozkurt vd. (2000) kentsel arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının kireçli bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin besin içeriğine etkisini belirlemek için yaptıkları bir çalışmada arıtma çamuru uygulamalarının tek başına ve hümitik madde ile beraber uygulanmasının alınabilir demir içeriğini kontrole göre arttırdığını bildirmişlerdir. Kırımhan vd. (1983)’ün bildirdiğine göre kentsel atık sular ile sulanan topraklarda alınabilir demir içeriğinde artış gözlenmiş ancak değerlerin toksik düzeyin altında olduğu belirlenmiştir.

Çalışma toprağa arıtma çamuru uygulaması ile alınabilir demir içeriğinde sağlanan artışın tarımsal üretim açısından önemli yararlar sağlama potansiyelinde olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.16.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam demir içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının toplam demir içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.16. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam demir (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	54500a	54719a	55283a	55851a	52333b	52478b	54038BC	54349ABC
AÇ ₂	53483a	53700a	61358a	61967a	60403a	60552a	58414AB	58740A
AÇ ₄	52953a	53169a	43348b	44081b	54523ab	54675ab	50274C	50641C
AÇ ₆	54204a	54423a	52572ab	53121ab	58653a	58567a	55143AB	55370AB
AÇ ₈	54703a	54922a	54918a	55484a	59818a	59491a	56479AB	56632AB
Varyans	0.157 ^{Ö.D.}		3.719**		3.093*			
Ortalama	54077B		53798B		57149A		54870	55146
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	4.374***							
Dönem	6.187**							
AÇXDön.	2.202**							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek toplam demir değerine 58740 mg kg⁻¹ olarak AÇ₂KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük toplam demir değerine de 50274 mg kg⁻¹ olarak AÇ₄KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam demir içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmakla beraber anlamlı bir trend oluşturmadığı görülmektedir. Kimyasal gübre uygulamalarının toplam demir içeriği üzerine etkisi incelendiğinde istatistiksel olarak önem arz etmediği görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler incelendiğinde birinci dönem için yapılan uygulamaların istatistiksel olarak önemsiz olduğu diğer dönemlerinde dönem ortalamalarından daha düşük öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir. Benzer şekilde kimyasal gübre uygulamalarının etkisini her bir dönemde ayrı ayrı irdelediğimizde etkinin önemsiz olduğunu görmekteyiz. Bu durum dönem ortalamalarına dayanarak yapılan yorumu destekler yöndedir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın toplam demir içeriği 53320 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme dönemi için ayrı ayrı hesaplanan ortalama toplam demir değerlerine bakıldığında toprağın başlangıç değerine göre toplam demir içeriğinin az miktarda arttığı görülmektedir. En yüksek toplam demir

içeriğine üçüncü örnekleme döneminde ulaşılmıştır. Birinci ve ikinci örnekleme dönemine göre kaydedilen bu artış istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur.

Deneme toprağının toplam demir içeriği 53320 mg kg⁻¹ olarak tespit edilirken arıtma çamurunun toplam demir içeriği 5870 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Tarımsal üretim açısından toprakların alınabilir demir içeriği kadar alınabilir hale dönüşebilecek toplam demir içeriği de önemli bir kriterdir (Kadioğlu 1999). Görüldüğü üzere arıtma çamurunun toplam demir içeriği toprağa nazaran oldukça düşüktür. Bu durum deneme konularının toplam demir içeriğindeki değişimin oldukça sınırlı kalmasını açıklar niteliktedir. Ancak alınabilir demir değerleri incelendiğinde AÇ₀ konularının 8 katı değere sahip uygulama konularının varlığı göze çarpmaktadır. Bu durum bize arıtma çamurunun demir içeriği ile birlikte asıl etkiyi yaratanın, Madrid (2003)'ün de bildirdiği gibi, arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriğinin toprakta şelatör maddelere dönüşerek minerallerin yarıyışlılığını arttırması olduğunu düşündürmektedir.

Çizelge 4.17.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının alınabilir çinko içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.17. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir çinko (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	1,40d	1.24d	1.30d	0.85d	1.60d	1.08d	1.43D	1.06D
AÇ ₂	11.44c	13.07c	17.08bc	12.76c	14.25cd	11.64cd	14.26C	12.49C
AÇ ₄	15.22bc	16.36bc	19.68bc	15.57bc	18.50c	18.04c	17.80BC	16.65BC
AÇ ₆	15.81bc	18.40bc	30.91a	24.40ab	41.17b	21.22c	29.30A	21.34B
AÇ ₈	21.94b	28.16a	24.33ab	20.18bc	56.18a	42.69b	34.15A	30.34A
Varyans	14.921***		11.490***		17.887***			
Ortalama	14.30B		16.70B		22.64A		19.39	16.38
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	36.812***							
Dönem	17.529***							
AÇXDön.	5.279***							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek alınabilir çinko değerine 34.15 mg kg⁻¹ olarak AÇ₈KGØ uygulamasında rastlanırken en düşük çinko değerine de 1.06 mg kg⁻¹ olarak AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının alınabilir çinko içeriğinin düzenli şekilde arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek düzeyde görülmektedir. Söz konusu artış oldukça güçlü ve istikrarlıdır. Kimyasal gübre uygulamalarının alınabilir çinko içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de

dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve genel eğilime uyumlu olduğu gözlenmiştir. Artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının alınabilir çinko içeriğinde sebep olduğu güçlü ve istikrarlı artış her bir dönem içinde ayrı ayrı gözlenmektedir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın alınabilir çinko içeriği 1.78 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminin ortalama alınabilir çinko içeriği dikkate alındığında toprağın başlangıç değerine göre alınabilir çinko içeriğinin arttığı açıkça görülmektedir. Örnekleme dönemlerinin tümünde bir önceki döneme göre daha yüksek alınabilir çinko içeriği tespit edilerek en yüksek değere üçüncü örnekleme döneminde ulaşılmıştır. Bu artış istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. Çalışmada kullandığımız arıtma çamurunun toplam çinko içeriği 2330 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Deneme toprağımızın başlangıçtaki toplam çinko içeriği ise 53.16 mg kg^{-1} dir. Kullandığımız arıtma çamurunun çinko içeriği deneme toprağından yaklaşık 44 kat daha fazladır. Ayrıca arıtma çamuru uygulaması ile toprak pH'sında meydana gelen düşüş ve ayrışan materyal ile birlikte toprakta ortaya çıkan maddelerin bir sonucu olarak toprak çinko içeriğinde bu değişimin yaşandığı düşünülmektedir.

Deneme öncesi arazide yapılan örneklemede alınabilir çinko durumu Viets ve Lindsay (1973)'e göre 1.78 mg kg^{-1} ile kritik değer olan 0.5 mg kg^{-1} dan büyük tespit edilmiştir. FAO (1990)'da bildirildiğine göre $0.7\text{-}2.4 \text{ mg kg}^{-1}$ arası alınabilir çinko değerine sahip topraklar “yeterli” sınıflamasındadır. Deneme toprağının başlangıç alınabilir çinko değeri her ne kadar bitki besleme açısından yeterli bulunsa da Loue (1986)'nın bildirdiğine göre yarıyışlı çinko üzerinde toprak pH'sı etkilidir. Araştırmacı pH artışı ile yarıyışlı çinko kapsamının azaldığını belirtmiştir. Ayrıca yıkanmış, kumlu, yüksek pH'lı, kalkerli, organik maddece fakir, aşırı kireçlenmiş ve fosforca zengin topraklarda çinko eksikliğine sık rastlandığını bildirmiştir. Eyüpoğlu (1998) Türkiye' de toprakların % 49.83'ünün yarıyışlı çinko kapsamının kritik değer olarak kabul edilen 0.5 mg kg^{-1} 'den düşük olduğunu ve tüm illerde çinko eksikliği sorununa rastlandığını bildirmiştir. Sungur ve Özüyğur (1986)'nın bildirdiğine göre Türkiye topraklarında en yaygın görülen element noksanlığı çinkodur. Aydeniz vd. (1986)'da bildirdiğine göre Akdeniz bölgesi topraklarında en fazla çinko noksanlığına rastlanmaktadır. Özyazıcı vd. (2012)'de yaptıkları bir çalışmada toprağa arıtma çamuru uygulamalarının toprağın mikro element kapsamı üzerine olan etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda gerçekleştirdikleri tarla denemesinde “buğday+beyaz baş lahana+domates” münavebe sistemi esas alınarak yetiştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, artan dozlardaki arıtma çamuru uygulaması ile toprağın ekstrakte edilebilir çinko içeriğinin arttığını tespit etmişlerdir. Çalışmada Lindsay ve Norvell (1978)'e göre yapılan sınıflandırmada ekstrakte edilebilir çinko değeri kontrol toprağında “az” seviyede iken, arıtma çamuru uygulamaları sonrası “yeter/fazla” düzeyine ulaştığı belirlenmiştir. Demir (2010) tarafından toprağa arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının etkisini araştırmak için gerçekleştirilen çalışmada artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile uyumlu şekilde toprağın alınabilir çinko içeriğinde kontrole göre doğrusal artış olduğu bildirmiştir. Çalışma kapsamında bulduğumuz sonuçlar literatür ile uyum göstermektedir. Deneme toprağının sahip olduğu özelliklerin önemli kısmı çinko beslenmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Toprağın kireç ve pH düzeyleri çinko beslenmesini olumsuz etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu olumsuz şartlarda bile arıtma çamuru uygulamaları ile alınabilir çinko içeriğinde tespit edilen artış dikkat çekicidir. Ancak çim yetiştiriciliği açısından toprakta yeterli kabul edilen alınabilir

çinko değerinin 20-50 mg kg⁻¹ arası olduğu göz önünde bulundurulduğunda tüm dönemler için AÇ₀, AÇ₂ ve AÇ₄ uygulamalarının bu aralığın altında kaldığı birinci dönemde AÇ₆ uygulamalarında bile bu değer üzerine çıkılamadığı görülmektedir. Çim için ideal kabul edilen bu değerlere ancak birinci dönemde AÇ₈, ikinci ve üçüncü dönemlerde AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında ulaşılabilmiştir. Toprağa arıtma çamuru uygulaması ile sağlanan etki önemli bir bitki besleme sorununa çözüm niteliğindedir. Ancak bu etkinin çim için yeterli seviyeye ulaşması AÇ₆ ve üzeri uygulamalarda mümkün olduğu gibi zamana da ihtiyacı vardır. Arıtma çamurunun toprağın alınabilir çinko içeriği üzerine etkisi tarımsal üretimde kullanım potansiyelini destekler niteliktedir. Materyalin kullanımı ile ilgili ümit verici bir başka nokta olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 4.18.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam çinko içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunurken arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkisi istatistiksel olarak % 1 önem düzeyinde tespit edilmiştir. Örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının toplam çinko içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.18. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam çinko (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	46.5d	63.0cd	50.8d	59.4cd	38.4d	38.5d	45.2E	53.6E
AÇ ₂	70.8bcd	86.2abc	86.3abcd	82.5bcd	65.0cd	64.0cd	74.1D	77.6CD
AÇ ₄	77.7abc	89.2abc	97.5abc	74.2bcd	68.4cd	98.5bc	81.2CD	87.3CD
AÇ ₆	74.9abcd	96.6ab	131.1a	110.8ab	122.1ab	83.0c	109.4AB	96.8BC
AÇ ₈	97.9ab	102.4a	130.3a	85.5abcd	148.5a	137.7a	125.5A	108.5AB
Varyans	3.472**		3.709**		9.541***			
Ortalama	80.5A		90.8A		86.4A		87.08	84.76
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	12.731***							
Dönem	1.798 ^{Ö.D.}							
AÇXDön.	2.278**							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek toplam çinko değerine 125.5 mg kg⁻¹ olarak AÇ₈KGØ uygulamasında rastlanırken en düşük değere 45.2 mg kg⁻¹ olarak AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının toplam çinko içeriğinin düzenli şekilde arttığı bu artışın istatistiki açıdan önem arz edecek düzeyde olduğu görülmektedir. Söz konusu artış oldukça güçlü ve istikrarlıdır. Kimyasal gübre uygulamalarının toplam çinko içeriği üzerine etkisi oldukça sınırlı kalmıştır. En düşük arıtma çamuru dozları olan AÇ₀, AÇ₂ ve AÇ₄ konularında kimyasal gübre uygulamalarının toplam çinko içeriğini çok sınırlı da olsa

arttırdığı görülmekle beraber arıtma çamuru dozlarının artışıyla bu etki yok olmakta hatta kimyasal gübre uygulanmayan parsellerin toplam çinko içeriğinin göreceli olarak daha yüksek tespit edildiği görülmektedir. Bu duruma kompoze gübre uygulaması ile toprağa verilen fosforun çinko ile antagonistik etkileşime girmesi neden olabilir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile benzer önem derecesinde ve genel eğilime uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın toplam çinko içeriği 53.16 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Örnekleme dönemlerinin ortalama toplam çinko içeriğine bakıldığında toprağın başlangıç değerine göre daha yüksek değerlere rastlanmaktadır. Ancak örnekleme dönemlerinin ortalama toplam çinko içerikleri arasında istatistiki bir fark görülmemiştir.

Tarım topraklarında toplam çinko miktarı $10\text{-}300 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmektedir (Kacar 1997). Avrupa birliğinin arıtma çamuru ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifine göre topraklar için izin verdiği maksimum toplam çinko miktarı da maksimum 300 mg kg^{-1} dır. Bu değer dikkate alındığında deneme topraklarında toplam çinko açısından şu aşamada herhangi bir kirlilik riski olmadığı görülmektedir. Önemli bir bitki besin elementi olan çinkonun kireçli topraklarda ve pH 7'nin üstünde olduğu durumlarda alınabilirliği azalmakta ve sık sık noksanlığına rastlanmaktadır. 200'ün üzerinde protein ve enzimin yapısında yer alan veya aktivatörü olan çinkonun (Çerçi 1998) bitkide noksanlığı durumunda klorofilin bozulması nedeniyle fotosentezde geriler (Fellner 1963). Çinko noksanlığında da görülen kloroz çim rengini olumsuz etkilediği için çinko beslenmesi çim kalitesi ile de doğrudan ilgilidir. Tarımsal üretim açısından toprakların çinko içerikleri verim ve kaliteyi doğrudan etkiler. Bu nedenle arıtma çamuru uygulamasıyla toprakların çinko içeriklerinin arttırılması tarımsal açıdan faydalı bir durumdur.

Çizelge 4.19.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyon yetiştirme ortamlarının alınabilir mangan içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının alınabilir mangan içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek alınabilir mangan değerine 33.65 mg kg^{-1} olarak AÇ₈KGØ uygulamasında rastlanırken en düşük değere de 19.07 mg kg^{-1} olarak AÇ₀KG+ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının alınabilir mangan içeriğinin düzenli şekilde arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek düzeyde görülmektedir. Kimyasal gübre uygulamalarının alınabilir mangan içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve genel eğilime uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağın alınabilir mangan içeriği 18.03 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Örnekleme dönemlerinin ortalama alınabilir mangan içeriğine bakıldığında toprağın başlangıç değerine göre daha yüksek değerlere rastlanılmaktadır. Ancak örnekleme dönemlerinin ortalama alınabilir mangan içerikleri arasında istatistiki bir fark görülmemiştir.

Çizelge 4.19. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir mangan (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	13.28e	11.84e	22.26ab	23.79ab	22.16ab	21.58ab	19.23C	19.07C
AÇ ₂	18.92de	20.81cde	28.15ab	25.71ab	20.64b	26.71ab	22.57BC	24.41BC
AÇ ₄	25.13bcde	23.62cde	24.29ab	19.63b	19.34b	25.85ab	22.92BC	23.03BC
AÇ ₆	33.36abcd	36.24abc	30.09a	24.40ab	31.97a	23.29ab	31.81A	27.98AB
AÇ ₈	40.76ab	48.23a	28.56a	22.63ab	31.65a	27.66ab	33.65A	32.84A
Varyans	5.707***		1.472 ^{0.D.}		2.003 ^{0.D.}			
Ortalama	24.95A		25.08A		27.22A		26.04	25.47
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	6.366***							
Dönem	1.149 ^{0.D.}							
AÇXDön.	3.024***							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Deneme öncesi arazide yapılan örneklemede alınabilir mangan durumu Loue (1986)'ya göre 18.03 mg kg^{-1} ile “yeterli” olarak sınıflandırılmıştır. FAO (1990)'da yapılan değerlendirmeye göre $14-50 \text{ mg kg}^{-1}$ arası alınabilir mangan değerine sahip topraklar “yeterli” olarak kabul edildiği için FAO (1990)'a göre yapılan sınıflandırmada “yeterli” bulunmuştur. Sadece birinci dönemde yapılan toprak örneklemede AÇ₀ konuları FAO (1990)'a göre alınabilir mangan düzeyi “az” sınıfında bulunurken diğer tespit edilen bütün örnekleme alanlarının tamamı “yeterli” sınıfında tespit edilmiştir. Uygulamaların etkisi ile alınabilir mangan içeriği artmış ancak bahsedilenin dışında sınıflandırmada fark yaratmamıştır. Yani toprağın alınabilir mangan içeriğinde risk oluşturabilecek değerlere rastlanmamıştır. Eyüpoğlu (1998)'in bildirdiğine göre Türkiye topraklarının mangan eksikliği çok geniş olmayan bir alan için söz konusudur. Topraklarımızın ancak binde yedisinde yaygın mangan kapsamı 1.0 ppm 'den azdır. Birçok araştırmacı Türkiye topraklarında mangan değerlerinin düşük olmasına rağmen mangan eksikliğine rastlanmadığını rapor etmişlerdir (Sungur ve Özuygur 1986; Aydeniz vd. 1986; Taban ve Kacar 1991). Viets ve Lindsay (1973)'e göre analiz edilen tüm toprak gruplarında örneklerin kritik düzeyin (1.0 ppm) üzerinde mangan içerdiği ve toprakların mangan beslenmesi yönünden yeterli bulunduğu bildirilmiştir. Loue (1986)'ya göre pH değeri 7–8 arası toprak gruplarında yapılan analizlerde örneklerin % 5.6'sında mangan noksanlığı yönünden azda olsa risk tespit edildiği ve yaygın mangan kapsamı üzerinde pH'nın çok kuvvetli etkisi olduğu bildirilmiştir.

Toprakların mangan içeriği üzerine etkili bir başka toprak özelliği de toprak organik maddesidir (Viets ve Lindsay 1973). Loue (1986) tarafından yapılan değerlendirmeye göre % 1' in altında, % 2–3 arasında, % 3–4 arasında, % 4'den fazla organik madde kapsayan toprak gruplarında örneklerin tümü mangan yönünden yeterli bulunmakla birlikte, % 1–2 arası organik madde kapsayan toprak grubunda örneklerin % 8.3'ü mangan noksanlığı yönünden riskli bulunmuştur. Şendemirci ve Korkmaz (2008) tarafından yapılan çalışmada beş farklı ilde yapılan 46 toprak örneklemede

illerin hiçbirisi mangan noksanlığı yönünden yüksek riskli bulunmazken sadece bir ilden alınan toprak örneklerinin % 14.3'ü mangan noksanlığı yönünden azda olsa riskli bulunmuştur. Bozkurt vd. (2000) kentsel arıtma çamuru ve hümik asit uygulamalarının kireçli bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin besin içeriğine etkisini belirlemek için yaptıkları bir çalışmada arıtma çamuru uygulamalarının tek başına ve hümik madde ile beraber uygulanmasının alınabilir mangan içeriğini kontrole göre arttırdığını bildirmişlerdir.

Çalışma kapsamında bulduğumuz sonuçlar literatür ile uyum göstermektedir. Deneme toprağının sahip olduğu özelliklerin önemli kısmı mangan beslenmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Kireç ve pH düzeyleri bunlardan en önemlileridir. Bu olumsuz şartlarda bile arıtma çamuru uygulamaları ile alınabilir mangan içeriğinde tespit edilen artış dikkat çekicidir. Toprağa arıtma çamuru uygulaması ile alınabilir mangan içeriğinde sağlanan artışın tarımsal üretim açısından önemli yararlar sağlama potansiyelinde olduğu düşünülmektedir. Bu durum materyalin kullanımı ile ilgili ümit verici bir başka noktadır.

Çizelge 4.20.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam mangan içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunurken örnekleme döneminin etkisi ise istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkileşim ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.20. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam mangan (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	432a	440a	431a	432a	447a	420a	437AB	431AB
AÇ ₂	442a	500a	495a	442a	467a	412a	468A	452A
AÇ ₄	409a	382a	416a	387a	396ab	245bc	407AB	338B
AÇ ₆	480a	455a	506a	489a	488a	217c	491A	387AB
AÇ ₈	464a	393a	506a	429a	446a	170c	472A	331B
Varyans	0.380 ^{Ö.D.}		0.450 ^{Ö.D.}		4.685**			
Ortalama	440A		453A		371B		455	388
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	2.617*							
Dönem	5.586**							
AÇXDön.	1.043 ^{Ö.D.}							

1. Değerler 4 tekrarlardan ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek toplam mangan değerine 491 mg kg^{-1} olarak AÇ₆KGØ uygulamasında rastlanırken en düşük değere de 331 mg kg^{-1} olarak AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam mangan içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak düşük önem düzeyinde bulunmuş ve anlamlı bir trend

oluşturmadığı görülmüştür. Kimyasal gübre uygulamalarının toplam mangan içeriği üzerine etkisi incelendiğinde istatistiksel olarak önem düzeyinin düşük olduğu ancak aynı artıma çamuru uygulama dozlarında KGØ konularının tamamının KG+ konularına göre daha yüksek toplam mangan değerine sahip olduğu görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler incelendiğinde birinci ve ikinci dönem için yapılan uygulamalar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Üçüncü dönemde kimyasal gübre uygulamasının yapıldığı AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ konularında genel verilere göre bir düşüş gözlenmiştir. Benzer şekilde kimyasal gübre uygulamaları da sadece üçüncü dönemde bu konularda istatistiksel açıdan farklılığa neden olmuş diğer konularda bir etkisine rastlanmamıştır. Deneme konuları toprağa uygulanmadan önce yapılan örneklemede toprağın toplam mangan içeriği 420 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme dönemi için ayrı ayrı hesaplanan ortalama toplam mangan değerlerine bakıldığında toprağın başlangıç değerine göre toplam mangan içeriğinin birinci ve ikinci dönemlerde az miktarda arttığı ancak üçüncü dönem düşerek toprağın başlangıç değerinden bile daha düşük bir seviyeye indiği görülmektedir. Arazide tespit edilen en düşük toplam mangan değerine üçüncü örnekleme döneminde rastlanmıştır. Birinci ve ikinci örnekleme dönemine göre kaydedilen bu azalış istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. Tarım topraklarında toplam mangan miktarı 200-3000 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Mengel ve Kirby 1987). Avrupa birliğinin arıtma çamuru ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifinde topraklar için herhangi bir sınır değeri verilmemiştir. Çalışmada deneme topraklarının mangan içeriği açısından olumlu değişimler kaydedilirken bu aşamada herhangi bir risk ile karşılaşılmamıştır.

Çizelge 4.21.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının alınabilir bakır içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.21. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının alınabilir bakır (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	0.80e	0.90de	0.83e	0.89e	1.06fg	0.99g	0.89D	0.93D
AÇ ₂	1.38cd	1.69c	1.77cd	1.76cd	1.89de	1.43efg	1.68C	1.63C
AÇ ₄	1.68c	1.75bc	1.90bcd	1.68d	2.16cd	1.62defg	1.92C	1.69C
AÇ ₆	1.81bc	1.91abc	2.33ab	2.26abc	3.64b	1.72def	2.59B	1.96C
AÇ ₈	2.29ab	2.44a	2.34ab	2.44a	4.39a	2.76c	3.00A	2.55B
Varyans	8.320***		12.309***		24.254***			
Ortalama	1.66B		1.82B		2.17A		2.02	1.75
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	38.106***							
Dönem	17.810***							
ACXDön.	5.839***							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek alınabilir bakır değerine 3 mg kg⁻¹ olarak AÇ₈KGØ uygulamasında rastlanırken en düşük değere 0.89 mg kg⁻¹ olarak AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının alınabilir bakır içeriğinin düzenli şekilde arttığı istatistiki açıdan önem arz edecek düzeyde görülmektedir. Kimyasal gübre uygulamalarının alınabilir bakır içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak düşük önem düzeyindedir. Ancak KGØ konularında KG+ konularına göre az farkla daha yüksek değişebilir bakır içeriği tespit edilmiş ve sadece AÇ₆ ve AÇ₈ konularında farklı harf alarak ifade edilmiştir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve genel eğilime uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce yapılan örneklemede toprağının alınabilir bakır içeriği 1.38 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminin ortalama alınabilir bakır içeriği dikkate alındığında toprağın başlangıç değerine göre alınabilir bakır içeriğinin arttığı açıkça görülmektedir. Her bir örnekleme döneminde bir önceki döneme göre daha yüksek alınabilir bakır içeriği tespit edilerek en yüksek değere üçüncü örnekleme döneminde ulaşılmıştır. Bu artış istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. Ancak toprağın başlangıç değeri çim yetiştiriciliği için optimum aralık olarak kabul edilen 0.2-0.4 mg kg⁻¹'in üstündedir. Bu sebeple uygulamaların bitki besleme açısından faydalı olduğunu söylemek mümkün olmadığı gibi toksik etkiye rastlanmadığı için zararlı olduğunu da söylemek mümkün değildir.

Deneme öncesi arazide yapılan örneklemede alınabilir bakır durumu Follet (1969) ve Viets vd. (1973)'e göre 1.38 mg kg⁻¹ ile “yeterli” olarak sınıflandırılmıştır. Uygulamaların etkisi ile alınabilir bakır içeriği artmıştır. Ancak sınıflandırmada fark yaratmamıştır. Yapılan örneklemlerin tamamında alınabilir bakır içeriği “yeterli” olarak tespit edilmiştir. Eyüpoğlu (1998)'in bildirdiğine göre Türkiye topraklarının tümünün yarayırlı bakır kapsamı, kritik değer olarak kabul edilen 0.2 mg kg⁻¹'in üstündedir. Bakır noksanlığının Türkiye topraklarında bitki besleme açısından genel bir sorun oluşturmadığını belirtmiştir. Birçok araştırmacı Türkiye topraklarında bitki besleme açısından bakır noksanlığına ya da toksisitesine rastlanmadığını rapor etmişlerdir (Sungur ve Özüyüğü 1986; Aydeniz vd. 1986; Güzel vd. 1991). Viets ve Lindsay (1973) yaptığı bir çalışmada analiz edilen tüm toprak gruplarında örneklerin tamamında “yeterli” (>0.2 mg kg⁻¹) düzeyin üzerinde alınabilir bakır tespit edildiğini ve toprakların alınabilir bakır içeriklerinin 0,39-5,61 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Özdoğan ve Seferoğlu (2015)'in yaptıkları bir çalışmada Aşağı Büyük Menderes havzasında toprak örnekleri olarak toprakların alınabilir bakır içeriklerini araştırmışlardır. Çalışmada toprakların alınabilir bakır içeriği 1.68-6.24 mg kg⁻¹ arasında tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde örneklerin tamamının alınabilir bakır içeriği “yeterli” olarak sınıflandırılmıştır. Benzer şekilde Aydın vd. (2008)'in yaptığı çalışmada vadi topraklarının alınabilir bakır içeriklerinin 1.40-5.98 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Çalışmada tespit edilen sonuçlar literatür ile paralellik göstermektedir. Bununla birlikte toprakların yarayırlı bakır kapsamı üzerinde pH'nın çok zayıf etkili olduğu ve pH arttıkça yarayırlı bakır kapsamının azaldığını bilinmektedir Loue (1986). Reed vd. (1991) tarafından yapılan çalışmada toprağa arıtma çamuru uygulaması yapılmıştır. Arıtma çamurunun ticari gübreye alternatif kullanım imkanı ve ağır metal birikimine etkisi incelenmiştir. Araştırma neticesinde uygulamalar

ile toprağın bakır içeriğinde hafif artışlar tespit edilmiştir. Bu etkinin bitki besleme açısından faydalı olduğu düşünölmekle beraber, toksik etki gözlenmemiştir.

Çizelge 4.22.'de göröldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının toplam bakır içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.22. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam bakır (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	94.8cd	86.1d	98.6bc	89.3cd	90.4cd	82.1d	94.6CD	85.8E
AÇ ₂	91.6cd	94.0cd	110.5ab	113.4a	106.5abc	109.3abc	102.8B	105.6AB
AÇ ₄	90.6d	95.3cd	75.3e	79.3de	99.2bcd	104.8abc	88.4DE	93.1CDE
AÇ ₆	95.7cd	101.2bc	92.8c	98.2bc	106.8abc	112.8ab	98.4BC	104.0AB
AÇ ₈	106.0ab	113.5a	92.6c	99.4bc	114.3ab	122.3a	104.3AB	111.8A
Varyans	7.385***		8.676**		3.594**			
Ortalama	96.9B		94.9B		104.8A		97.7	100.1
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	9,651***							
Dönem	12,979***							
AÇXDön.	3,337***							

1. Değerler 4 tekrerrör ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek toplam bakır değerine 111,8 mg kg⁻¹ olarak AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük değere 85.8 mg kg⁻¹ olarak AÇ₀KG+ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam bakır içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Veriler ile uygulamalar arasında üzenli bir trende rastlanmamakla beraber hem KGØ konularında hem de KG+ konularında en yüksek değerler AÇ₈ uygulamalarında görölmüştür. Kimyasal gübre uygulamalarının toplam bakır içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve genel eğilime uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deneme konuları toprağa uygulanmadan önce yapılan örneklemede toprağın toplam bakır içeriği 92.30 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme dönemi için ayrı ayrı hesaplanan ortalama toplam bakır değerlerine bakıldığında toprağın başlangıç değerine göre daha yüksek değerlere rastlanılmaktadır. Arazide tespit edilen en yüksek toplam bakır değerine üçüncü örnekleme döneminde rastlanmıştır. Birinci ve ikinci örnekleme dönemine göre kaydedilen bu artış istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur.

Bakırın tarım topraklarındaki dağılımı 2-100 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Kacar 1995). Çalışmada arıtma çamuru uygulaması yetiştirme ortamlarının toplam bakır içeriklerini arttırmıştır ancak bu artış sınırlı kalmıştır. Berthet vd. (1989) arıtma

çamuru uygulamasına bağlı olarak toprakta ve bitkideki bakır birikiminin düşük olduğunu bildirmiştir. Araştırmacı bakırın biyo-yararlılığının düşük olmasının muhtemelen bu duruma sebep olduğunu savunmuştur. Gardiner vd. (1995) beş yıl boyunca kireçli bir toprağa dekara 2 ton olacak şekilde uygulanan arıtma çamurunun deneme bitkileri olan arpa ve ıspanakta ağır metal birikimine etkilerini incelemişlerdir. Arıtma çamuru uygulamaları ile her iki bitkide de bakır kapsamının kadmiyuma nazaran daha az arttığını belirtmişlerdir. Tespit edilen bakır değerlerinin toksik sınırın altında kaldığını bildirmişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki genel verilerle paralellik göstermektedir. Deneme topraklarının ve arıtma çamurlarının başlangıçtaki toplam bakır içerikleri incelendiğinde Avrupa birliğinin yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifindeki sınır değerlere (50-140 mg/kg⁻¹) uygun olduğu görülmektedir. Tüm bu veriler ve yetiştirme ortamlarının bakır içerikleri değerlendirildiğinde deneme topraklarına belirtilen miktarlarda arıtma çamuru uygulamalarının ortamların toplam bakır içeriğinde toksisite riskine neden olmadığı tüm konular için söylenebilmektedir.

Arıtma çamuru uygulamaları yetiştirme ortamlarının demir, çinko, mangan ve bakır konsantrasyonlarını arttırmıştır. Ancak toprakta sınır değerler aşılmamıştır. Materyalin bu koşullar altında kullanımı bahsi geçen elementler için bir risk oluşturmadığı gibi bölgemizde noksanlığına sıklıkla rastlanan özellikle demir, çinko ve manganın toprağa geri kazandırılmasını sağlayacağı için tarımsal fayda sağlayabilir. Söz konusu elementlerin sıklıkla çim yetiştiriciliğinde de noksanlığına rastlanıldığı ve kimyasal gübreleme ile noksanlıklarıyla mücadele edildiği bilinmektedir. Rulo çim yetiştiriciliğinde arıtma çamuru kullanımı ile hem yaygın mikro element noksanlıklarının önüne geçileceği hem de gübrelemeye ihtiyaç duyulması halinde kullanılacak kimyasal miktarını azaltacağı tahmin edilmektedir.

4.4. Yetiştirme Ortamlarında DTPA-Ekstrakte Edilebilir ve Toplam Ağır Metal Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örneklem zamanının yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir ve toplam ağır metal (Pb, Cd, Ni ve Cr) konsantrasyonlarına etkisini belirlemek amacıyla üç farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. Dönem verileri 11.07.2017 tarihinde inkübasyon dönemi sonrasında yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. 2. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. 3. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan toprak örneklemesinin sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.23.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ve örneklem döneminin yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.23. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	0.87ab	0.68ab	0.90abc	0.63abc	1.08b	0.38b	0.95ABC	0.56C
AÇ ₂	1.11ab	1.11ab	0.72abc	0.68abc	0.68b	0.50b	0.84ABC	0.76BA
AÇ ₄	0.78ab	1.04ab	1.06ab	0.79abc	0.42b	0.83b	0.75BC	0.89ABC
AÇ ₆	0.73ab	0.87ab	1.39b	0.33bc	1.12b	0.83b	1.08AB	0.68BC
AÇ ₈	0.46b	1.50a	1.04ab	0.20c	0.53b	2.08a	0.68BC	1.26A
Varyans	1.363 ^{Ö.D.}		2.299*		2.754*			
Ortalama	0.92A		0.77A		0.85A		0.86	0.83
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	1.901 ^{Ö.D.}							
Dönem	0.740 ^{Ö.D.}							
AÇXDön.	2.39**							

1. Değerler 4 tekrerr ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde uygulamaların ve örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler de dönemler ortalaması ile uyum göstermektedir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce alınan toprak örneğinin DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun içeriği 1.68 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Üçüncü dönem AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanan 2.08 mg kg^{-1} hariç olmak üzere her bir örnekleme döneminde elde edilen değerlere bakıldığında başlangıç toprağının DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun değerinin her üç dönemde tespit edilen DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun değerlerine göre az miktarda da olsa daha yüksek olduğu görülmektedir. Dönemler kendi aralarında kıyaslandığında örnekleme dönemlerinin ortalama DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun içerikleri arasında istatistiki bir fark görülmemiştir.

Çizelge 4.24.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksyonun yetiştirme ortamlarının toplam kurşun içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam kurşun konsantrasyonlarına etkisini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde 1. ve 2. döneme ait uygulama konularından bazıları cihazın kurşun elementi için ölçüm limiti olan 0.03 mg kg^{-1} 'dan daha düşük değerde olduğu için belirlenememiştir. Yapılan istatistiksel analizde bu konuların kurşun konsantrasyonları sıfır olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.24. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam kurşun (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	D.L.d	D.L.d	5.52 ab	5.03b	D.L.c	D.L.c	1.84C	1.68C
AÇ ₂	D.L.d	D.L.d	6.51a	5.28ab	D.L.c	D.L.c	2.17C	1.76C
AÇ ₄	D.L.d	2.47c	6.01ab	5.02b	D.L.c	2.05b	2.00C	3.18B
AÇ ₆	D.L.d	5.66b	6.29ab	3.10c	D.L.c	2.53b	2.10C	3.76A
AÇ ₈	D.L.d	6.91a	6.01ab	0.28d	D.L.c	4.53a	2.00C	3.90A
Varyans	56.262***		20.156***		58.403***			
Ortalama	1.50B		4.90A		0.91C		2.02	2.86
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	18.542***							
Dönem	403.175***							
AÇXDön.	47.729***							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir. Pb için D.L.<0.03 mg kg^{-1} .

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek toplam kurşun değerine 3.9 mg kg^{-1} olarak AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük değere 1.68 mg kg^{-1} olarak AÇ₀KG+ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam kurşun içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Özellikle KG+ uygulamalarında düzenli bir trende rastlanmış bu durum konuların aldığı harf değerleriyle istatistiksel olarak ifade edilmiştir. Ayrıca hem KGØ konularında hem de KG+ konularında en düşük değerler AÇ₀ uygulamalarında rastlanmıştır. Kimyasal gübre uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kimyasal gübre uygulaması yapılan konularda tespit edilen toplam kurşun içerikleri aynı arıtma çamuru uygulama dozlarında kimyasal gübre uygulaması yapılmayan parsellere göre tüm konularda daha yüksektir. Her bir örnekleme dönemi verileri ayrı ayrı değerlendirildiğinde birinci ve üçüncü dönemde kimyasal gübre uygulamalarının yapılmadığı parseller ve AÇ₀KG+ ve AÇ₂KG+ konularında toplam kurşun içeriği cihazın tespit limitlerinin altında kaldığı için belirlenememiştir. Deneme konuları toprağa uygulanmadan önce yapılan örneklemede toprağın toplam kurşun içeriği 2.23 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. İkinci dönemde tespit edilen ortalama toplam kurşun içeriği başlangıç toprağında ve birinci dönemde tespit edilen değerden yüksek olmakla beraber üçüncü örnekleme döneminde tespit edilen değer tümünün altında kaldığı görülmekte ve bu değişim istatistiksel olarak da önemli bulunmaktadır.

Scheffer ve Schachtschabel (1989)'ün bildirdiğine göre topraklarda kurşun içeriği sıklıkla ortalama 15-70 mg kg^{-1} arasında değişmektedir. Belirli bir güven seviyesinde tayin edilebilen en küçük analit derişimi veya kütlesi deteksiyon limiti (D.L.) (belirleme sınırı) olarak kabul edilir. Alınan örneklerin bazılarında toplam kurşun içeriği cihazın ölçüm limitinin (D.L. <0.03 mg kg^{-1}) altında kalmıştır. Toplam kurşun içeriği ölçüm limitinin üstünde olup değer belirleyebildiğimiz örneklere baktığımızda da tüm konular içinde tespit edilmiş en yüksek kurşun değeri 6.91 mg kg^{-1} 'dir. Avrupa

birliğinin arıtma çamurlarının tarım topraklarına uygulanması ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifinde topraklarda kurşun içeriği için belirtilen sınır değer aralığı 50-300 mg kg⁻¹ dir. Ülkemizde ise 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete’de Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte pH ≥ 7 olan topraklar için ağır metal sınır değeri kurşun elementi için fırın kuru toprakta 100 mg kg⁻¹ olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi toprakta tespit edilen toplam kurşun içeriği sınır değerlerin oldukça altındadır. Denemde kullandığımız arıtma çamurunun toplam kurşun içeriği 16.70 mg kg⁻¹ dir. Arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanılabilmesi için kurşun limit değerleri ABD için 300 mg kg⁻¹ (USEPA 1993); AB ülkeleri için 750-1200 mg kg⁻¹ (86/278/EEC) ve ülkemizdeki 750 mg kg⁻¹’dir (Anonim 2010). Görüldüğü üzere denemede tespit edilen kurşun konsantrasyonları sınır değerlerin oldukça altındadır. Ayrıca Avrupa Birliğinin arıtma çamurunun tarımda kullanımı ile ilgili 86/278/EEC direktifinde 10 yıllık ortalama değerler baz alınarak tarım arazilerine yıllık ilave edilebilecek ağır metal miktarları için verilen sınır değerlerinde toplam kurşun için 15 kg⁻¹ ha⁻¹ yıl⁻¹ değeri belirtilmiştir. Konu ile ilgili yasal sınırlamalar ve çalışma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde arıtma çamurunun pH’ı 7.45 ve CaCO₃ içeriği % 46 olan deneme toprağımıza uygulanmasının kısa ve orta vadede toprakta ve bitkide kurşun toksisitesine neden olması beklenmemektedir.

Çizelge 4.25.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kadmiyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme döneminin ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun etkisi ise yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kadmiyum içeriği üzerine istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.25. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kadmiyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	0.008a	0.011a	0.008b	0.037ab	0.035bc	0.017bc	0.017C	0.022C
AÇ ₂	0.048a	0.040a	0.025ab	0.078ab	0.021bc	0.032bc	0.031BC	0.050ABC
AÇ ₄	0.019a	0.023a	0.007b	0.088a	0.069abc	0.042abc	0.032BC	0.051ABC
AÇ ₆	0.046a	0.055a	0.085ab	0.062ab	0.109a	0.006c	0.080A	0.041ABC
AÇ ₈	0.057a	0.013a	0.060ab	0.073ab	0.091ab	0.034bc	0.069AB	0.040ABC
Varyans	0.835 ^{Ø.D.}		1.768 ^{Ø.D.}		2.255*			
Ortalama	0.032A		0.052A		0.046A		0.046	0.041
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	2.424*							
Dönem	2.174 ^{Ø.D.}							
AÇXDön.	1.275 ^{Ø.D.}							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; Ø.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kadmiyum içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak çok düşük önem düzeyinde olduğu görülmektedir. Ancak veriler incelendiğinde hem KGØ hem de KG+ uygulamaları arasında en düşük DTPA-ekstrakte edilebilir kadmiyum değerine AÇ₀ uygulamalarında rastlanıldığı görülmektedir. Uygulamalar göreceli olarak bir artışa neden olmuştur ancak bu artış artan arıtma çamuru dozlarıyla düzenli hareket etmemektedir. Benzer şekilde kimyasal gübre uygulamalarının da anlamlı bir etkisi tespit edilememiştir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler de dönemler ortalaması ile uyum göstermektedir. Birinci ve ikinci dönem için uygulamaların etkisi önemsiz bulunurken üçüncü dönemde uygulamaların etkisi ihmal edilebilir düzeyde kalmıştır. Örneklem döneminin yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kadmiyum içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.26.'da görüldüğü üzere örneklem döneminin yetiştirme ortamlarının toplam kadmiyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarının ve arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının toplam kadmiyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.26. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam kadmiyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	3.34a	2.66a	0.78bcd	1.25abcd	0.83a	1,44a	1.65AB	1.78AB
AÇ ₂	2.85a	2.03a	1.46abc	0.29d	1.22a	1,20a	1.85AB	1.17B
AÇ ₄	3.26a	3.70a	0.79bcd	0.37cd	1.03a	1,40a	1.69AB	1.82AB
AÇ ₆	1.80a	4.94a	2.21a	0.69bcd	1.33a	1,80a	1.78AB	2.47AB
AÇ ₈	5.96a	2.84a	1.71ab	0.68bcd	1.55a	1,61a	3.07A	1.71AB
Varyans	0.865 ^{Ø.D.}		3.374**		0.902 ^{Ø.D.}			
Ortalama	3.34A		1.02B		1.34B		2.01	1.79
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	1.161 ^{Ø.D.}							
Dönem	22.692***							
AÇXDön.	0.925 ^{Ø.D.}							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; Ø.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam kadmiyum içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler de dönemler ortalaması ile uyum göstermiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce alınan toprak örneğinin toplam kadmiyum içeriği 1.01 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örneklem döneminde elde edilen değerlere bakıldığında başlangıç toprağının toplam kadmiyum değerinin bu değerlerden az miktarda da olsa daha düşük olduğu görülmektedir. Arazide tespit edilen en yüksek toplam kadmiyum

değerine birinci örnekleme döneminde rastlanmıştır. İkinci ve üçüncü örnekleme dönemlerinde bu değer düşmüştür. Birinci örnekleme dönemine göre tespit edilen bu değişim istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. Uygulamaların toprağın toplam kadmiyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz çıktığı için uygulamaların bu konuda etkisi olmadığını söylemek mümkündür. Ancak olası riskleri değerlendirmek için toprak ve arıtma çamurunun özelliklerini incelemekte fayda vardır. Avrupa birliğinin arıtma çamurlarının tarım topraklarına uygulanması ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifinde arıtma çamuru uygulaması yapılacak toprakların kadmiyum içeriği için belirtilen sınır değer aralığı 1-2 mg kg⁻¹ dir.

Ülkemizde ise 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete’de “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik”te pH ≥ 7 topraklar için toplam kadmiyum sınır değeri fırın kuru toprakta 1.5 mg kg⁻¹ olarak belirtilmiştir. Çalışma yapılan arazinin toplam kadmiyum içeriği 1.01 mg kg⁻¹ olarak başlangıçta tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere limit değerın altında kalmaktadır. Ayrıca deneme kapsamında gerçekleştirilen son örnekleme olan üçüncü dönem verileri de incelendiğinde uygulama konularının tamamının toplam kadmiyum içeriğinin sınır değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Bu bize bir sonraki arıtma çamuru uygulaması için toprağın yönetmeliğe uygun olduğunu göstermektedir. Denemede kullandığımız arıtma çamurunun toplam kadmiyum içeriği 0.92 mg kg⁻¹dir. Arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanılabilmesi için içerebileceği kadmiyum limit değerleri ABD için 39 mg kg⁻¹ (USEPA 1993); AB ülkeleri için 20-40 mg kg⁻¹ (86/278/EEC) ve ülkemizdeki 10 mg kg⁻¹dir (Anonim 2010). Görüldüğü üzere denemede tespit edilen kadmiyum konsantrasyonları sınır değerlerin oldukça altındadır. Konu ile ilgili yasal sınırlamalar ve çalışma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde arıtma çamurunun pH’ı 7.45 ve CaCO₃ içeriği % 46 olan deneme toprağıımıza uygulanmasının kısa ve orta vadede toprakta ve bitkide kadmiyum toksisitesine neden olması beklenmemektedir.

Çizelge 4.27.’de görüldüğü üzere örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir krom içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunurken, arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun etkisi % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir krom içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Dönemler ortalaması incelendiğinde uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir krom içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler de dönemler ortalaması ile uyum göstermiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce alınan toprak örneğinin DTPA-ekstrakte edilebilir krom içeriği 0.134 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminde elde edilen değerlere bakıldığında başlangıç toprağının DTPA-ekstrakte edilebilir krom değerinin bu değerlerden az miktarda da olsa daha yüksek olduğu görülmektedir. Örnekleme dönemlerinde tespit edilen ortalama DTPA-ekstrakte edilebilir krom değerlerinin zamanla düzenli olarak düştüğü görülmektedir. Bu düşüş istatistiksel olarak da önemli bulunmuş ve farklı harflendirme ile ifade edilmiştir.

Çizelge 4.27. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir krom (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	0.032b	0.027b	0.028ab	0.011ab	0.095a	L.D.a	0.023AB	0.013BA
AÇ ₂	0.017b	0.052ab	0.016ab	0.010ab	L.D.a	L.D.a	0.011BC	0.021ABC
AÇ ₄	0.008b	0.036b	0.029a	0.001b	L.D.a	L.D.a	0.012BC	0.012BC
AÇ ₆	0.003b	0.094a	0.006ab	0.005ab	L.D.a	L.D.a	0.003C	0.033A
AÇ ₈	0.029b	0.039b	L.D.b	L.D.b	L.D.a	L.D.a	0.010BC	0.013BC
Varyans	2.558*		1.636 ^{Ø.D.}		1.000 ^{Ø.D.}			
Ortalama	0.034A		0.011B		0.001C		0.012	0.018
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	1.882 ^{Ø.D.}							
Dönem	24.994***							
AÇXDön.	2.544**							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir. Cr için D.L.< 0.001 mg kg^{-1} .

Çizelge 4.28.'de görüldüğü üzere örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının toplam krom içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunurken, arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkisi % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının toplam krom içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.28. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam krom (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	16.86abcd	4.43d	29.83ab	37.48ab	33.86a	36.62a	26.85ABC	24.51BC
AÇ ₂	16.56abcd	2.66d	31.97ab	28.77ab	37.59a	28.79a	28.70ABC	20.07C
AÇ ₄	18.82abcd	27.02ab	23.10b	33.99ab	32.32a	30.05a	24.74BC	30.15AB
AÇ ₆	7.37cd	34.51a	41.34a	38.73ab	37.35a	32.56a	28.69ABC	35.27A
AÇ ₈	12.90bcd	24.34abc	36.38ab	31.63ab	34.77a	33.34a	28.01ABC	29.81AB
Varyans	2.930*		1.165 ^{Ö.D.}		0.575 ^{Ö.D.}			
Ortalama	16.55B		33.26A		33.23A		27.40	27.96
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	1.981 ^{Ö.D.}							
Dönem	37.435***							
AÇXDön.	1.851*							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir krom konsantrasyonlarına etkisini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde 2. ve 3. döneme ait uygulama konularından bazıları cihazın krom elementi için ölçüm limiti olan 0.001 mg kg⁻¹'dan daha düşük değerde olduğu için belirlenememiştir. Yapılan istatistiksel analizde bu konuların kurşun konsantrasyonları sıfır olarak kabul edilmiştir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların toplam krom içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler de dönemler ortalaması ile uyum göstermiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce alınan toprak örneğinin toplam krom içeriği 47.77 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme döneminin ortalamalarına bakıldığında başlangıç toprağının toplam krom değerinin bu değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Örnekleme döneminin toplam krom içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tespit edilen ortalama toplam krom değerlerinin birinci örnekleme döneminde en düşük değeri aldığı ancak ikinci ve üçüncü örnekleme dönemlerinde daha yüksek seyrettiği görülmüştür. İkinci ve üçüncü örnekleme dönemi arasında istatistiksel olarak fark görülmemiştir.

Uygulamaların toprağın toplam krom içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunduğu için uygulamaların bu konuda etkisi olmadığını söylemek mümkündür. Ancak olası riskleri değerlendirmek için toprak ve arıtma çamurunun özelliklerini incelemekte fayda vardır. Avrupa birliğinin arıtma çamurlarının tarım topraklarına uygulanması ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifinde arıtma çamuru uygulaması yapılacak toprakların krom içeriği ile ilgili sınır değer bildirilmemiştir. Ancak ülkemizde 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete'de Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te pH ≥ 7 topraklar için toplam krom sınır değeri fırın kuru toprakta 100 mg kg⁻¹ olarak belirtilmiştir. Çalışma yapılan arazinin toplam krom içeriği 47.77 mg kg⁻¹ olarak başlangıçta tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere limit değerinin altında kalmaktadır. Ayrıca deneme kapsamında gerçekleştirilen son örnekleme olan üçüncü dönem verileri de incelendiğinde uygulama konularının tamamının toplam krom içeriğinin sınır değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Bu bize bir sonraki arıtma çamuru uygulaması için toprağın yönetmeliğe uygun olduğunu göstermektedir. Denemde kullandığımız arıtma çamurunun toplam krom içeriği 38.26 mg kg⁻¹'dir. Arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanılabilmesi için içerebileceği krom limit değerleri ile ilgili ABD ve AB ülkeleri tarafından konulmuş bir sınır değeri yoktur. Ancak ülkemizde 1000 mg kg⁻¹'den fazla krom içeren arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanılması yasaklanmıştır (Anonim 2010). Görüldüğü üzere denemede tespit edilen krom konsantrasyonları sınır değerlerin oldukça altındadır.

Bozkurt vd. (2000)'in yapacakları çalışmada kullanmak üzere Yüzüncü Yıl Üniversitesi kanalizasyon arıtma tesisinden aldıkları çamurda Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Cr ve Cd elementlerinin konsantrasyonları sınır değerlerin altında tespit edilmiştir. Bu materyalin toprağa uygulanmasında herhangi bir risk görülmediği bildirilmiştir. Arıtma çamurlarının tarım topraklarına uygulanması ile ilgili çok sayıda çalışmaya ulaşmak mümkündür. Materyalin kullanımını sınırlayan en önemli faktör ağır metal olarak düşünüldüğü için konu ile ilgili çalışmalarda ağır metal konsantrasyonları araştırmacılar tarafından sıklıkla incelenmiştir. Arıtma çamuru uygulamalarının toprakta krom için

risk oluşturmadığını bildiren çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür (Orman vd. 2014; Ok ve Orman 2018). Arıtma çamuru uygulaması ile toprak pH'sında ve şelatör madde içeriğinde meydana gelebilecek değişiklikler Cd, kobalt (Co), Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metallerin çözünürlüğünü arttırabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durum muhtemelen mineral veya humik yüzeylerdeki değişebilir yük alanlarının desorpsiyonu ile ilgilidir (Evans vd. 1995). Konu ile ilgili yasal sınırlamalar ve çalışma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde arıtma çamurunun pH'ı 7.45 ve CaCO₃ içeriği % 46 olan deneme toprağıımıza uygulanmasının kısa ve orta vadede toprakta ve bitkide krom toksisitesine neden olması beklenmemektedir.

Çizelge 4.29.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir nikel içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunurken örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir nikel içeriği üzerine etkisi ise % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.29. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir nikel (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	0.31d	0.49cd	0.34c	0.42bc	0.29e	0.40de	0.31G	0.43FG
AÇ ₂	0.47cd	0.86ab	0.64ab	0.77a	0.49de	0.62cd	0.54EF	0.75CD
AÇ ₄	0.72bc	0.61bcd	0.63ab	0.64ab	0.49de	0.61cd	0.61DE	0.62DE
AÇ ₆	0.87ab	0.88ab	0.77a	0.90a	0.87ab	0.43de	0.84BC	0.74CD
AÇ ₈	1.18a	1.18a	0.84a	0.89a	1.07a	0.82bc	1.03A	0.96AB
Varyans	7.242***		4.473**		9.601***			
Ortalama	0.76A		0.68AB		0.61B		0.67	0.70
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	17.598***							
Dönem	6.441**							
AÇXDön.	1.633 ^{0.D.}							

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarında en yüksek DTPA-ekstrakte edilebilir nikel değerine 1.03 mg kg⁻¹ olarak AÇ₈KGØ uygulamasında rastlanırken en düşük değere 0.31 mg kg⁻¹ olarak AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir nikel içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Özellikle KGØ uygulamalarında düzenli bir trende rastlanmış bu durum konuların aldığı harf değerleriyle istatistiksel olarak ifade edilmiştir. Ayrıca hem KGØ konularında hem de KG+ konularında en düşük değerler AÇ₀ uygulamalarında rastlanırken en yüksek değerlere de AÇ₈ konularında rastlanmıştır. Kimyasal gübre uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak her ne kadar farklı harflendirme ile ifade edilse de bu etkinin anlamlandırılması mümkün olmamıştır. Her bir dönem için ayrı ayrı

yapılan istatistiki değerlendirmeler de dönemler ortalaması ile uyum göstermektedir. Özellikle artan dozlarla birlikte gözlenen düzenli artış her bir dönem içi verilerde de tekrarlamıştır. Deneme konuları toprağa uygulanmadan önce yapılan örneklemede toprağın DTPA-ekstrakte edilebilir nikel içeriği 0.43 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Arazide tespit edilen en yüksek toplam kadmiyum değerine birinci örnekleme döneminde rastlanılmıştır. İkinci ve üçüncü örnekleme dönemlerinde bu değer düşmüş ancak yine de toprağın başlangıç değerinden yüksek seyretmiştir. Birinci örnekleme dönemine göre tespit edilen bu değişim istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. Ancak ikinci ve üçüncü dönemler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı için bu dönemler aynı harf ile ifade edilmiştir.

Çizelge 4.30.'da görüldüğü üzere örnekleme döneminin yetiştirme ortamlarının toplam nikel içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarının ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun yetiştirme ortamlarının toplam nikel içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.30. Uygulamaların yetiştirme ortamlarının toplam nikel (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler						Dönemler Ortalaması	
	1. Dönem		2. Dönem		3.Dönem			
	Kimyasal Gübre							
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	28.84bc	25.18bc	46.78a	54.18a	46.71a	49.57a	40.78B	42.97AB
AÇ ₂	28.04bc	23.24c	53.43a	43.88a	51.62a	51.29a	44.36AB	39.47B
AÇ ₄	31.95abc	48.26ab	48.01a	45.31a	44.79a	44.92a	41.58AB	46.16AB
AÇ ₆	19.64c	54.41a	59.07a	52.18a	53.91a	48.69a	44.21AB	51.76AB
AÇ ₈	49.15ab	39.59abc	59.37a	44.45a	52.57a	45.79a	53.70A	43.31AB
Varyans	2.704*		0.811 ^{Ö.D.}		0.365 ^{Ö.D.}			
Ortalama	34.82B		50.67A		48.98A		44.93	44.73
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)								
AÇ	1.503 ^{Ö.D.}							
Dönem	17.914***							
AÇXDön.	1.539 ^{Ö.D.}							

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 6. Ortalama satırında büyük harfle gösterilen değerler dönemler arasındaki farkı ifade etmektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların toplam nikel içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmeler de dönemler ortalaması ile uyum göstermiştir. Deneme konularının araziye uygulanmasından önce alınan toprak örneğinin toplam nikel içeriği 24.73 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Her bir örnekleme dönemi ortalamalarına bakıldığında başlangıç toprağının toplam nikel değerinin bu değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Örnekleme döneminin toplam nikel içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tespit edilen ortalama toplam nikel değerlerinin birinci örnekleme döneminde en düşük değeri aldığı ancak ikinci ve üçüncü örnekleme dönemlerinde bir miktar yükseldiği görülmüştür.

Aritma çamuru uygulamasının toprağın toplam nikel içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Ancak örnekleme döneminin etkisi istatistiksel olarak önemli tespit edilmiştir. Hem dönem etkisini incelemek hem de olası riskleri değerlendirmek için toprak ve arıtma çamurunun özelliklerini incelemekte fayda vardır. Avrupa birliğinin arıtma çamurlarının tarım topraklarına uygulanması ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifinde arıtma çamuru uygulaması yapılacak toprakların nikel içeriği 30-75 mg kg⁻¹ olarak sınırlandırılmıştır. Ülkemizde 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete’de “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik”te pH ≥ 7 topraklar için toplam nikel sınır değeri fırın kuru toprakta 70 mg kg⁻¹ olarak belirtilmiştir. Çalışma yapılan arazinin toplam nikel içeriği 24.73 mg kg⁻¹ olarak başlangıçta tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere tespit edilen sonuç limit değerinin altında kalmaktadır. Ayrıca deneme kapsamında gerçekleştirilen uygulama konularının tamamının toplam nikel içeriğinin sınır değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Bu bize bir sonraki arıtma çamuru uygulaması için toprağın yönetmeliğe uygun olduğunu da göstermektedir. Denemde kullandığımız arıtma çamurunun toplam nikel içeriği 32.12 mg kg⁻¹’dır. Arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanılabilmesi için içerebileceği nikel limit değerleri ABD’de 420 mg kg⁻¹ ve AB ülkelerinde 300-400 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Ülkemizde bu değer 300 mg kg⁻¹ olarak belirlemiştir (Anonim 2010). Görüldüğü üzere denemede tespit edilen krom konsantrasyonları sınır değerlerin oldukça altındadır. Arıtma çamurlarının nikel içeriği ile ilgili yapılan bir çalışmada kuru madde nikel içerikleri ABD’de ortalama 82 mg kg⁻¹ ve AB ülkelerinde ortalama 82 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur (Council Directive 2000/76/EC). Sommers (1977)’de bildirdiğine göre arıtma çamuru kadmiyum ve nikel gibi ağır metalleri düşük oranlarda içermektedir. Gardiner vd. (1995) beş yıl boyunca kireçli bir toprağa dekara 2 ton olacak şekilde uygulanan arıtma çamurunun toprak ile birlikte deneme bitkileri olan arpa ve ıspanakta da ağır metal birikimine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda toksik etki gözlenmezken toprağın nikel içeriğindeki artışın kadmiyumda daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Reed vd. (1991) tarafından yapılan çalışmada toprağa arıtma çamuru uygulaması yapılmıştır. Arıtma çamurunun ticari gübreye alternatif kullanım imkânı ve ağır metal birikimine etkisi incelenmiştir. Araştırma neticesinde uygulamalar ile toprağın nikel içeriğinde artış tespit edilmemiştir. Konu ile ilgili yasal sınırlamalar ve çalışma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde arıtma çamurunun pH’ı 7.45 ve CaCO₃ içeriği % 46 olan deneme toprağına uygulanmasının toksik bir etkisi görülmemiştir. Ancak ilk alınan toprak örneğinde tespit edilen nikel içeriğine göre daha sonra daha yüksek nikel değerleri tespit edilmiştir. Bu konsantrasyonlara üçüncü örnekleme döneminde de rastlanmıştır. Tüm tespit edilen değerler sınır değerlerin altında olsa da bir miktar artış kaydedildiği açıktır. Tekrarlı arıtma çamuru uygulanması halinde toprağın nikel içeriğinin takip edilmesinde fayda vardır.

Toprakta belirlenen ağır metallere özellikle kurşun, nikel ve krom konsantrasyonları “Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik”te belirtilen sınır değerlerin oldukça altında kalmıştır. Çalışmada söz konusu üç ağır metalle ilgili belirlenen birçok parametrede arıtma çamuru uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Ancak kadmiyum sonuçları üzerinde durmakta fayda vardır. Bazı uygulama konularında sınır değerin çok az da olsa üzerinde kadmiyum ile karşılaşılmıştır. Kadmiyum ile ilgili ulusal sınır değerler bir önceki yönetmelikte (Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik) 3 mg kg⁻¹ iken yeni yönetmelikte (Evsel ve kentsel

arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik) 1.5 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Kadmiyum ile ilgili ulusal sınır değerlerin düşürülmesi toplam kadmiyum ile ilgili yaptığımız değerlendirmeyi olumsuz etkilemiştir. Ancak çalışmada kadmiyum ile ilgili bir noktanın altını çizmekte fayda vardır. Toprağa uyguladığımız arıtma çamuru deneme toprağımızdan bile daha az kadmiyum içermektedir. Zaten uygulamaların toplam kadmiyum içeriği üzerine etkisi de istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Karşılaşılan durumu deneme toprağımızın başlangıç kadmiyum değerinin biraz yüksek olmasıyla ilişkilendirmek doğru olabilir. Çalışmada arıtma çamurunun toprağa uygulanmasını kısıtlama riski en yüksek ağır metallerin kadmiyum olduğunu söylemek en azından bu deneme toprağı için yanlış olmaz. Bu nedenle arıtma çamurlarının toprağa uygulanması ile ilgili yapılacak çalışmalarda arıtma çamuru ve deneme toprağının kadmiyum içeriğine özel önem vermek faydalı olacaktır.

Wang vd. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada arıtma çamuru uygulamasının toprak ve çimde ağır metal konsantrasyonuna etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında arıtma çamuru toprağa artan dozlarda (0, 1.5, 3, 6, 12 ve 15 t da⁻¹) uygulanmış ve *Zoysia japonica* çim türü yetiştirilmiştir. Araştırma sonuçları incelendiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamasının “Çin çevresel kalite standardının” toprak için belirlemiş olduğu Zn, Pb ve Cu için geçerli sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Ancak belirlenen Cd konsantrasyonu sınır değerinin üstünde kalmıştır. Araştırmacılar sınır değerin üzerinde tespit edilen kadmiyum elementi nedeniyle söz konusu materyalin tarım alanlarında kullanılması halinde besin zinciri yoluyla Cd taşınımı riski olduğu için materyalin orman ve çim alanlarda rekreasyon amaçlı kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmişlerdir.

4.5. Çimde Belirlenen Bitkisel Parametreler

4.5.1. Çimin çıkış hızı, kaplama hızı ve parçalanmaya dayanım parametreleri ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının çim çıkış ve kaplama hızına olan etkisini belirlemek amacıyla sahada stolonların atıldığı tarih olan 11.07.2017 tarihinden itibaren her gün gözlem yapılmış ve son parselin de çim ile kaplandığı güne kadar sürdürülmüştür. Uygulama konularının kesilen rulo çimin parçalanmaya dayanımı üzerine etkisini tespit etmek için ilk kesimde elde edilen rulo çimlerin saha şartlarında parçalanmaya dayanımları gram cinsinden belirlenmiştir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.31.’de görüldüğü üzere uygulamaların çimin çıkış hızı, kaplama hızı ve parçalanmaya dayanımı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge incelendiğinde artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile çim çıkış süresinin düzenli şekilde düştüğü böylece çıkış hızının arttığı açık şekilde görülmektedir. Bu etki KGØ ve KG+ konularında da benzer şekilde ortaya çıkmakla beraber her iki konuda da artış hızının uygulamalara göre değişimi AÇ₄ uygulamasına kadar istatistiksel olarak önemli tespit edilmiş olup AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farka rastlanmamıştır.

Çizelge 4.31. Uygulamaların çimin çıkış hızı (gün), kaplama hızı (gün) ve parçalanmaya dayanımı (gr) üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Çıkış Hızı		Kaplama Hızı		Parçalanmaya Dayanım	
	Kimyasal Gübre		Kimyasal Gübre		Kimyasal Gübre	
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+
AÇ ₀	44.75d	37.50c	62.00f	52.25e	03975d	21200c
AÇ ₂	29.25b	28.00b	42.75d	40.50d	26600b	28505b
AÇ ₄	23.25a	21.50a	31.00c	29.75bc	27878b	28563b
AÇ ₆	20.50a	19.25a	28.00abc	26.25ab	27995b	29188b
AÇ ₈	19.75a	19.50a	24.75a	25.25a	33513a	34320a
ANOVA (Tek Yönlü; Duncan %5)						
Uygulamalar	42.558***		83.969***		69.194***	

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Kimyasal gübre uygulaması ile arıtma çamuru uygulama dozlarının tamamında çıkış hızı bir miktar artmıştır. Ancak bu artış sadece AÇ₀ konusunda istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bu durum kimyasal gübrelemenin istatistiksel olarak sadece kontrole göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Arıtma çamuru uygulaması yapılan hiçbir parselde kimyasal gübre kullanımı çıkış hızında önemli bir etki yaratmamıştır. Arıtma çamurunun tek başına kullanıldığı en yüksek uygulama dozu olan AÇ₈KGØ parsellerinde sadece kimyasal gübrelemenin yapıldığı AÇ₀KG+ parsellerine göre çim çıkışı yaklaşık 18 gün daha önce gerçekleşmiştir. Rulo çim üretiminde çıkış hızının yüksek olması üreticinin istediği bir özelliktir. Arıtma çamurunun tek başına kullanımı ile sadece kimyasal gübre uygulanmış parsellerde tespit edilen çıkış hızının neredeyse iki katına ulaşılması materyalin rulo çimde kullanımını destekler bir veridir.

Uygulamaların kaplama hızı üzerine etkisi incelendiğinde, artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile kaplama süresinin düzenli şekilde düştüğü böylece kaplama hızının arttığı belirgin şekilde görülmektedir. Bahsedilen bu değişim istatistiksel olarak da önemli bulunarak, konuların aldığı harf değerlerinde net şekilde ifade edilmiştir. KGØ ve KG+ konularının her ikisinde de kaplama hızındaki artış bir trend oluşturacak şekilde gözlenmektedir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim kaplama hızı üzerine etkisi sadece AÇ₀ konularında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bu durum kimyasal gübrelemenin istatistiksel olarak sadece kontrole göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Bu parsellerde (AÇ₀) gübre kullanımı ile kullanılmayan parselde göre kaplamanın yaklaşık 10 gün önce gerçekleştiği tespit edilmiştir. Arazide tespit edilen en hızlı kaplama AÇ₈KGØ uygulamasında 24.75 gün olarak tespit edilirken en yavaş kaplamada AÇ₀KGØ konusunda 62 gün olarak tespit edilmiştir. En hızlı kaplama hızının tespit edildiği parsel olan AÇ₈KGØ konusunu sadece kimyasal gübre uygulaması ile kıyasladığımızda kaplama süresinin AÇ₈KGØ uygulamasında 27.5 gün daha önce gerçekleştiğini görüyoruz. Arıtma çamuru uygulamaları ile kaplama süresinde elde edilen yaklaşık bir aylık avantajın zincirleme şekilde birçok üretim giderini düşüreceği açıktır. Diğer yandan rulo çim kesim süresini de daha erken bir tarihe çekmesi beklenir. Bu sayede araziden birim zamanda kesilen rulo çim miktarı artabilir ve daha erken ürün arzı sağlanabilir.

Uygulamaların çimin parçalanma dayanımı üzerine etkisi incelendiğinde, artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile parçalanma direnci düzenli şekilde artmıştır. Bahsedilen bu değişim istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. AÇ₂, AÇ₄ ve AÇ₆ uygulamaları arasındaki fark sınırlı kalmış, istatistiksel olarak aynı grupta sınıflandırılmışlardır. Benzer şekilde en yüksek dayanım kimyasal gübre uygulamasından bağımsız olarak AÇ₈ dozu arıtma çamuru uygulamasında gözlenirken en düşük dayanım değerine de AÇ₀ uygulamalarında rastlanmıştır. Kimyasal gübre uygulamalarının etkisi irdelendiğinde ise arıtma çamuru uygulaması yapılmayan AÇ₀ uygulamalarında kimyasal gübre uygulanması ile (AÇ₀KGØ konusuna göre AÇ₀KG+ konusunda) çimin parçalanma direncinin bir miktar arttığı belirlenmiştir. Bu artış istatistiksel olarak da anlamlıdır. Kimyasal gübre uygulamaları tüm konularda az da olsa parçalanma direncini arttırmış ancak AÇ₀ uygulamaları dışında kimyasal gübre uygulamasının etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Çalışmada arıtma çamurunun tek başına kullanıldığı en yüksek doz olan AÇ₈KGØ konusunda tespit edilen parçalanma direnci sadece kimyasal gübre uygulaması yapılmış AÇ₀KG+ konusuna göre yaklaşık % 50 daha yüksektir. Arıtma çamurunun kimyasal gübreye göre sağladığı bu avantaj rulo çimin araziden kaldırılması, taşınması ve yerine serilmesi aşamasında meydana gelen kayıpları azaltacağı açıktır. Böylece arıtma çamuru kullanımı ile daha kaliteli ve efektif bir rulo çim üretim sağlanabilir.

Çim alan tesisinde sahanın bulunduğu bölge, ekolojik şartlar ve ihtiyaçlara bağlı olarak tek tür çim kullanımı ile beklenen nitelikte çim alan tesisinin sağlanabildiği örneklerle rastlanmakla birlikte çoğu zaman tek tür çim kullanımı ile tüm yıl boyunca ihtiyaçlara cevap verebilen bir çim saha tesis edebilmek çok kolay değildir. Bu sebeple başta ekolojik özellikler dikkate alınarak ihtiyaçlara uygun birden fazla çim türü seçilerek birlikte kullanılmaktadır. Bu sayede daha uniform bir çim alan oluşturmak, soğuk, sıcak ve kuraklık gibi farklı iklim koşullarına adaptasyon sağlamak, hastalık zararlılara dirençli, basmaya karşı toleranslı saha tesis etmek mümkün olabilmektedir (Watschke ve Schmidt 1992). Bu nedenle bölgemizde rulo çim üretiminde sıklıkla kullanılan melez bermuda çimi (*Cynodon dactylon* x *Cynodon transvalensis*) ve İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) çalışmada birlikte kullanılmıştır. Ancak çıkış ve kaplama hızı verileri sadece bermuda stolonlarının araziye atıldıktan sonraki gelişimlerini ifade etmektedir. Çimin çıkış hızı ve alanı kaplama hızı başta üretim materyali, çim çeşidi, iklim, toprak özellikleri ve bakım gibi birçok faktöre bağlı olduğu bilinmektedir.

Çıkış ve alanı kaplama hızı ile ilgili genel bir değerlendirme yaptığımızda artan arıtma çamuru uygulamaları ile bitki gelişiminin hızlandığını ve geçen sürenin kısaldığını görüyoruz. Tek başına arıtma çamuru kullanımı ile kimyasal gübrelemeye göre çıkış süresini 18 gün kaplama süresini 27.5 gün kısaltmak mümkün olmuştur. Rulo çim üretiminin zaman karşı yapılan bir yarış olduğunu düşünürsek arıtma çamuru ile sağlanan bu avantaj rulo çim üretimi açısından oldukça kıymetlidir.

Bu verilere paralel olarak arıtma çamuru uygulamaları ile rulo çim parçalanma direncinde de artış gözlenmiştir. Çalışmada sadece arıtma çamuru uygulaması yapılarak kimyasal gübrelemeye göre parçalanma direncinin yaklaşık % 50 oranında artırılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Araziden kesilmiş rulo çim parçalarının parçalanmaya dayanımının yüksek olması bitkinin sahip olduğu kök sisteminin gücüne ve yoğunluğuna bağlıdır. Bu noktada stolon ve rizomlu bir bitki olan bermuda çiminin

vejetatif geliştiği ölçüde rulo çimin parçalanmaya dayanımının yüksek olacağı açıktır. Avcıoğlu ve Gül (1997)'nin bildirdiğine göre stolonlu ve rizomlu bitkilerde sık bir örtü oluşabilmesi için 1 dm²'lik alanda 200'den fazla sürgünün bulunması gerekmektedir. Çim bitkileri vejetasyonlarını sağlıklı şekilde sürdürebilmek için karbon, hidrojen ve oksijenden sonra en çok ihtiyaç duydukları bitki besin elementi azottur. Bu nedenle çim sahalarda en çok azot gübrelemesi yapılmakla beraber azot bitkide etkisini hızlı ve güçlü şekilde gösterir (Orçun 1979). Çim sahanın sağlıklı, koyu yeşil ve diri olması ancak yeterli ve düzenli azotlu gübrenin sahaya verilmesi ile mümkündür (Moore vd. 1996). Backes vd. (2013)'ün arıtma çamuru kullanımı ile rulo çim üretimi yaptıkları bir çalışmada rulo çim üretiminde arıtma çamuru kullanımının azot kullanım etkinliğini arttırdığını tespit etmişlerdir. Bu sonuç üzerinde arıtma çamurunun ihtiva ettiği azotun inorganik gübrelere göre daha yavaş salınım ile toprak çözeltisine geçmesinin etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Artan dozlarda azot uygulaması ile çim kalitesinde olumlu etki gözlemlendiği bilinmektedir (Trenholm ve Unruh 2007). Bilgili ve Açıkgöz (2011)'in bildirdiğine göre artan azot dozları ile çim bitkilerinde kaplama hızı artmaktadır. Literatürde çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar ile uyumlu çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Arıtma çamurunun özellikle azot beslenmesine olan katkısının ve arıtma çamuru ile bitkiye sağlanan bitki besin maddelerinin zamana yayılarak bitkinin ihtiyacına uzun süre cevap verebilmesinin sonuçlar üzerinde belirleyici etki yaptığı düşünülmektedir.

4.5.2. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde yaş ağırlık, kuru ağırlık, bitki boyu, renk, klorofil parametreleri ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örneklem zamanının çim bitkisi üst aksam örneklerinde yaş ağırlık, kuru ağırlık, bitki boyu, renk, klorofil ölçümü (Klorofil SPAD birimi), toplam klorofil analizi parametrelerine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'de verilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 ve 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.32.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çimin yaş ağırlığı üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.32. Uygulamaların çimin yaş ağırlığı (gr) üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	124f	2235ef	433e	670e	278E	1453E	
AÇ ₂	7454de	9316d	3630d	3719d	5542D	6518D	
AÇ ₄	11828cd	13460cd	5241cd	6166bc	8534CD	9813C	
AÇ ₆	16214bc	19859ab	6864bc	7304bc	11539BC	13581B	
AÇ ₈	19868ab	23465a	8273ab	10069a	14070AB	16767A	
Anova Var.	15.339***		21.148***		7993	Ort.	9626
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	27.000***						
Dönem	116.987***						
AÇXDön.	4.925***						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek çim yaş ağırlığına 16767 g ile AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük ağırlığa 278 g ile AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan artan dozlarda arıtma çamurunun parsellerden kaldırılan çim yaş ağırlığını uygulamalar ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel açıdan da yüksek önem arz edecek düzeydedir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim yaş ağırlığı üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile artan yaş çim ağırlığını teşvik etme yönündedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu etkinin arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın bitki besin maddesi içeriğinde özellikle de azot içeriğinde kaydedilen artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Zorer vd. (2004) azotlu gübre uygulamalarından sonra ot veriminin arttığını bildirmiştir. Çelebi vd. (2011) yaptıkları çalışmada artıma çamurunun yeşil alan için tesis gübresi olarak kullanım imkânını araştırmışlardır. Artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması yaptıkları alanda rizomlu kırmızı yumak ile yeşil alan tesis etmişlerdir. Çalışma sonunda toprağa arıtma çamuru uygulamasının kontrole göre yeşil ot verimini önemli ölçüde arttırdığını ve tespit edilen en yüksek yeşil ot verimine en yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan 12 ton da⁻¹ arıtma çamuru uygulamasında rastladıklarını bildirmişlerdir. Küçükhemek vd. (2005) yaptıkları çalışmada çim alan tesisinde arıtma çamuru ve çiftlik gübresi kullanmışlardır. İki materyalin çim bitkisi üstündeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yaptıkları örneklemede arıtma çamuru uygulamasının çiftlik gübresine kıyasla çim yaş ağırlığında daha çok artışa neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ancak unutulmamalıdır ki çim sahalarda fazla biçim gider ve işçilik açısından ek maliyete neden olmaktadır. Yapılan uygulamalar ile çim sahanın renk ve kalite gibi istenen kriterleri arttırılmaya çalışılırken aşırı sürgün büyümesinden

kaçınılmalıdır. Bu da ancak bitkinin azot beslenmesinin doğru yönetilmesi ile mümkündür (Turner ve Hummel 1992).

Çizelge 4.33.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının çim kuru ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkisi ise çim kuru ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.33. Uygulamaların çimin kuru ağırlığı (gr) üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	59f	1220ef	340e	528e	199F	874F	
AÇ ₂	2386de	3365cd	2867cd	2664d	2627E	3014DE	
AÇ ₄	3600bcd	3946bcd	3997bcd	4283bc	3799CDE	4115CD	
AÇ ₆	4776abc	5493abc	4703ab	4731ab	4740BC	5112ABC	
AÇ ₈	5738ab	6467a	5573ab	6209a	5656AB	6338A	
Anova Var.	8.565***		15.357***		3404	Ort.	3891
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	21.493***						
Dönem	0.179 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	0.314 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekrarlı ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek çim kuru ağırlığına 6338 g ile AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanmakla beraber bu uygulama ile AÇ₈KGØ ve AÇ₆KG+ uygulamaları arasında istatistiksel olarak bir fark tespit edilememiştir. En düşük çim kuru ağırlığına ise 199 g ile AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan artan dozlarda arıtma çamurunun parsellerden kaldırılan çim kuru ağırlığını uygulamalar ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel açıdan da yüksek önem arz edecek düzeydedir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim kuru ağırlığı üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli olmamakla beraber kuru madde miktarını arttırıcı yönde değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile artan kuru çim ağırlığını teşvik etme yönündedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu etkiye arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın bitki besin maddesi içeriğinde, özellikle de azot içeriğinde, kaydedilen artışın neden olduğu düşünülmektedir.

Dereli (2017)'nin farklı azot dozlarının çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.) çeşitlerinin yeşil alan performansı üzerine etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; artan azotlu gübre uygulamalarının kuru ot verimini arttırdığını bildirmişlerdir. Çimrin vd. (2000)'in kentsel arıtma çamurunun kireçli bir toprakta

fosfor kaynağı olarak kullanım imkanlarını araştırdıkları bir çalışmada arıtma çamuru ve kimyasal gübre uygulaması ile bitki kuru ağırlığı ve üst aksam ağırlığının önemli düzeyde arttığını bildirmişlerdir. Karuç vd. (2004) kentsel atık su arıtma çamurunun tarımda kullanım imkânlarını araştırdıkları bir çalışmada arıtma çamuru uygulamasının bitki kuru ağırlığını kontrole göre arttırdığını bildirmişlerdir. EI-Dawwey (1993) tarafından gerçekleştirilen çalışmada artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması yapılmış saksılarda buğday yetiştirilmiştir. Deneme sonunda uygulamaların bitki kuru ağırlığında önemli artışa neden olduğu görülmüştür. Mısır ve farklı bitkilerle yapılan birçok çalışmada araştırmacılar, toprağa değişik dozlarda uygulanan arıtma çamurunun bitkilerin kuru madde ağırlığını arttırdığını bildirmişlerdir (Bozkurt vd. 2000; Lombi ve Gerzabek 1998).

Çizelge 4.34.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitki boyu üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.34. Uygulamaların çimin bitki boyu (cm) üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	2.3e	2.8e	1.0g	2.5f	1.6F	2.6F	
AÇ ₂	10.0d	11.5d	5.0f	6.0ef	7.5E	8.8E	
AÇ ₄	19.8c	27.0b	5.0f	7.8de	12.4D	17.4BC	
AÇ ₆	25.3b	26.8b	8.3d	11.5c	16.8C	19.1B	
AÇ ₈	33.3a	32.5a	14.0b	16.8a	23.6A	24.6A	
Anova Var.	92.976***		49.943***		12.4	Ort.	14.5
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	135.743***						
Dönem	650.081***						
AÇXDön.	28.307***						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek bitki boyuna 24.6 cm ile AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük bitki boyuna 1.6 cm ile AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan artan dozlarda arıtma çamurunun bitki boyunu uygulamalar ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel açıdan da yüksek önem arz edecek düzeydedir. Kimyasal gübre uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi incelendiğinde arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile artan bitki boyunu teşvik etme yönündedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve uyumlu olduğu gözlenmiştir. Uygulamalar ile uyumlu şekilde bitki boyunda artış net şekilde gözlenmektedir. Arıtma çamuru uygulamasının tek başına yapıldığı en yüksek doz olan AÇ₈KGØ uygulamasında sadece kimyasal gübrelemenin yapıldığı AÇ₀KG+ uygulamasına göre 8

kat daha fazla bitki boyu ölçülmüştür. Kimyasal gübrelemeye göre sağlanan bu açık fark toprağın bitki besin maddesi içeriğinde ve diğer özelliklerinde sağlanan iyileşme ile açıklanmakla beraber muhtemelen en büyük pay sahibi azottur. Arıtma çamurunun tarımsal üretimde azot kaynağı olarak kullanımının araştırıldığı çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür (Mays ve Giordano 1988; Menelik vd. 1991). Azotun tüm kültür bitkilerinde özellikle de buğdaygillerde vejetatif gelişmeyi hızlandırdığı, kardeşlenmeyi artırdığı, bitki boyu, renk ve büyüme hızını olumlu yönde etkilediği bilinmektedir (Kacar 1977). Azot çim bitkilerinin sürgün sıklığı, renk, hastalıklara dayanıklılık ve bitkilerin yenilenme kabiliyetleri gibi çok değişik özelliklerine olumlu etkide bulunmaktadır. Buğdaygil beslenmesinde gerekli başlıca makro besin elementlerinden biri olan azotun gübreleme ile desteklenmesi bu bakımdan önemlidir (Kelly 1988). Ancak azot çim gelişiminde neden olduğu hızlı ve önemli değişim nedeniyle en dikkat edilmesi gereken elementlerin başında geldiği de unutulmamalıdır. Araziden mümkün oldukça fazla biyokütle kaldırmanın hedeflendiği bir çalışmada artan bitki boyu ile doğru orantılı şekilde materyalin faydasından bahsetmek mümkün olsa da rulo çim üretiminde amacın mümkün olan en düşük maliyetler ile en kaliteli rulo çim üretmek olduğu unutulmamalıdır. Bu noktada arıtma çamuru uygulamaları ile bitki boyunda sağlanan artış idealden uzaklaştığı ölçüde rulo çim üretim maliyetlerini de kaçınılmaz olarak arttıracaktır.

Çizelge 4.35.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları ve örneklem döneminin çim rengine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunurken arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki interaksiyonun etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.35. Uygulamaların çim rengi (1-9 skalası) üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	3d	3d	1e	3d	2G	3F	
AÇ ₂	5c	5c	3d	5c	4E	5D	
AÇ ₄	7b	7b	7b	7b	7C	7C	
AÇ ₆	9a	9a	7b	9a	8B	9A	
AÇ ₈	9a	9a	9a	9a	9A	9A	
Anova Var.	36.267***		58.401***		6	Ort.	7
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	86.026***						
Dönem	11.221***						
AÇXDön.	1.867**						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 1: Sarı, 3: Açık sarı-yeşil, 5: Yeşil, 7: Koyu yeşil, 9: Çok koyu yeşil.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çimde en yüksek skala rengine 9 değeri ile AÇ₈KGØ, AÇ₈KG+ ve AÇ₆KG+ uygulamalarında rastlanırken en düşük skala rengine 2 değeri ile AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan artan dozlarda arıtma çamurunun bitki skala değerini uygulamalar ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel açıdan da yüksek önem arz edecek düzeydedir. Kimyasal gübre uygulamalarının etkisi incelendiğinde, arıtma

çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan bazı konularda önemli ve anlamlı değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Söz konusu etki artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile artan skala değerini teşvik etme yönündedir. Her bir dönem için ayrı ayrı yapılan istatistiki değerlendirmelerin de dönemler ortalaması ile aynı önem derecesinde ve uyumlu olduğu gözlenmiştir. Her iki örnekleme döneminde tespit edilen skala değerleri birbiriyle kıyaslandığında, ikinci örnekleme döneminde KGØ konularında AÇ₄ ve AÇ₈ uygulama dozları dışındaki konularda bir düşüş gözlenmektedir. Böyle bir durum KG+ konuları için geçerli değildir. Bu konularda birinci ve ikinci dönemde tespit edilen değerler aynı bulunmuştur.

Uygulamalar ile uyumlu olarak çim renginde değişim gözlenmektedir. Uygulamaların toprağın bitki besin maddesi içeriğinde neden olduğu artışın çim rengini teşvik ettiği düşünülmüştür. Özellikle noksanlığı kloroza neden olabilecek azot, magnezyum ve demir gibi bitki besin elementlerinin topraktaki konsantrasyonlarının uygulamalar ile paralel şekilde arttığı tespit edilmiştir. Bitki besin maddelerindeki bu artışın çim renginde etkili olduğu düşünülmektedir.

Çim bitkilerinin saçak kök yapısı besin elementlerinin alımı açısından idealdir. Azot, potasyum ve fosfor makro besin elementleri içinde çim bitkileri tarafından miktarca en çok ihtiyaç duyulan temel bitki besin elementleridirler. Mikro besin elementleri içinde ise demir çim gübreleme programlarına en sık eklenen elementtir. Ancak golf sahaları (özellikle green bölgesi) veya futbol sahaları gibi yüksek oranda kum içeren atletik sahalarda ve yüksek pH seviyesine (aşırı alkali) sahip topraklarda yetişen çim bitkilerinin gübreleme programlarına bakır, çinko, mangan gibi diğer mikro besin elementlerinin ve makro besin elementi magnezyumun eklenmesi tavsiye edilebilir (Severmutlu 2017). Çim sahalarda canlı ve sağlıklı vejetasyon istenmekle birlikte çimlerin koyu yeşil renkte olması da bir o kadar önemlidir. Bu da ancak iyi bir azot beslenmesi ile mümkündür (Wehner vd. 1988; Moore vd. 1996). Azot klorofilin temel yapı taşlarından biridir. Çimin azotça yetersiz beslenmesi kaçınılmaz olarak çime rengini veren klorofil sentezini de olumsuz etkileyecektir (Beard 1973). Bu sebeple çimde renk azot noksanlığını tespit etmede indikatör olarak kullanılan bir özelliktir (Severmutlu vd. 2019).

Bilgili vd. (2017) farklı azot dozlarının bermuda çimi (*Cynodon sp.*)'nin gelişimi ve çim kalitesi üzerine etkilerini inceledikleri bir çalışmada farklı azot dozlarının bitki gelişimi ve çim kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. İki yıllık araştırma sonuçlarına göre artan azot dozları; çim renk ve kalitesi ile kuru ot verimlerini artırmıştır. 4 g/m² azot dozu uygulamasının tüm çim çeşitlerinde kabul edilebilir çim renk ve kalite değerleri verdiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte 6 g/m² azot dozunun tüm gözlemlerde en yüksek renk değeri verdiği, buna karşılık kontrol parsellerinde ise en düşük renk değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Bilgili ve Açıkgöz (2011) tarafından yapılan çalışmada artan azot dozlarının çim bitkilerinde renk, kalite, kaplama oranı ve kuru ot gibi özellikleri artırdığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.36.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının çim klorofil düzeyi (SPAD birimi) üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi

arasındaki interaksiyonun etkisi ise çim klorofil düzeyi (SPAD birimi) üzerinde etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.36. Uygulamaların klorofil düzeyi (SPAD birimi) üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	24.44f	26.77ef	16.31f	28.84d	20.38E	27.80D	
AÇ ₂	24.35f	32.91d	18.62ef	34.87bcd	21.49E	33.89C	
AÇ ₄	28.75e	34.35d	26.42de	38.35abc	27.59D	36.35C	
AÇ ₆	35.89cd	38.99c	34.03cd	43.18ab	34.96C	41.09B	
AÇ ₈	43.03b	47.54a	45.36a	44.53a	44.20AB	46.03A	
Anova Var.	34.892***		14.206***		29.72	Ort.	37.03
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	34.374***						
Dönem	0.452 ^{0.D.}						
AÇXDön.	1.898 ^{0.D.}						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde SPAD metre cihazı ile ölçülen en yüksek klorofil değeri 46.03 ile AÇ₈KG+ uygulamasında elde edilirken en düşük değer 20.38 ile AÇ₀KGØ uygulamasında elde edilmiştir. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan artan dozlarda arıtma çamurunun tespit edilen SPAD klorofil değerlerini uygulamalar ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel açıdan da yüksek önem arz edecek düzeydedir. Kimyasal gübre uygulamalarının tespit edilen SPAD klorofil değerleri üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile artan SPAD klorofil düzeyini teşvik etmektedir. Örnekleme dönemlerinin etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte her bir dönem içi değerler ayrı ayrı incelendiğinde uygulamaların etkisi ile gözlenen trend her iki dönem için de benzer olmuştur.

Stres faktörlerinin bitkiler üzerindeki etkilerini belirlemek için başvuru yollarından biri de bitkilerin toplam klorofil içeriklerini belirlemektir. Daha önce yapılan birçok çalışmada metal kirliliğinin bitkilerde klorofil düzeyini düşürdüğü bildirilmiştir (Barcelo vd. 1986, Manios 2003). Stobart vd. (1985) tarafından ağır metallerin klorofil biyosentezinde görev yapan enzimleri etkileyerek işlevlerini engelleyebildiğini bildirilmişlerdir. Bu duruma örnek olarak kadmiyumun protoklorofil reduktaz aminoevulinik asit (ALA) sentezini engelleyerek dolaylı olarak klorofil biyosentezini engellemesini örnek göstermişlerdir.

Denemede artan arıtma çamuru uygulamaları ile bitkilerin toplam klorofil içeriğinde bir azalma görülmemiştir. Aksine klorofil düzeyleri arıtma çamuru uygulamaları ile artmıştır. Arıtma çamuru ve topraktaki ağır metal konsantrasyonları sınır değerlerin altında olduğu için bitkide toksik etki (stres) yaratmamış ve gelişimini

sınırlandırmamıştır. Daha önce de bahsedildiği gibi uygulamaların etkisi ile bitki besin elementlerinde gözlenen artış ile klorofil sonuçları uyumludur. Bu durumu bitki için olumlu bir işaret olarak okumak mümkündür. Azot, kloroplastlarda bulunan klorofil molekülünün yapısal bir üyesidir ve ortamda bol bulunduğunda klorofil molekül sayısını arttırmaktadır (Türkan 2008). Arıtma çamuru uygulamaları ile başta azot olmak üzere bitki besin maddelerinde gerçekleştirilen değişim klorofil verileri ile de desteklenmiştir.

Çizelge 4.37.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki interaksyonun çim toplam klorofil içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örneklem döneminin çim toplam klorofil içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli tespit edilmiştir.

Çizelge 4.37. Uygulamaların toplam klorofil analizi (mg g^{-1}) üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	6.96d	7.99d	4.48c	17.92a	5.71E	12.95CD	
AÇ ₂	11.98c	13.68bc	9.07b	16.51a	10.52D	15.09BC	
AÇ ₄	16.55ab	12.59bc	15.18a	16.26a	15.86ABC	14.42BC	
AÇ ₆	15.78abc	13.41bc	14.92a	18.18a	15.35ABC	15.79ABC	
AÇ ₈	15.43abc	19.06a	18.69a	17.58a	17.06AB	18.32A	
Anova Var.	8.678***		9.354***		12.90	Ort.	15.31
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	13.824***						
Dönem	6.147*						
AÇXDön.	4.320***						

1. Değerler 4 tekrerr ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde en yüksek toplam klorofil değerine 18.32 mg g^{-1} ile AÇ₈KG+ uygulamasında rastlanırken en düşük değere 5.71 mg g^{-1} ile AÇ₀KGØ uygulamasında rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan artan dozlarda arıtma çamurunun toplam klorofil değerlerini uygulamalar ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel açıdan da yüksek önem arz edecek düzeydedir. Kimyasal gübre uygulamalarının toplam klorofil değerleri üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile artan toplam klorofil değerini sınırlı teşvik yönündedir. Örneklem dönemlerinin etkisi istatistiksel olarak düşük önem düzeyinde çıkmıştır. Bununla birlikte her bir dönem içinde elde edilen değerler kendi içinde incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının etkisi birinci dönemde net şekilde fark edilirken ikinci dönem bu etkiyi tüm uygulamalar için söylemek mümkün değildir. Yine de ikinci dönemde AÇ₀KGØ konusunda en düşük toplam klorofil değeri tespit edilirken diğer konular kontrole göre daha yüksek tespit edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının etkisi net fark edilmemekle beraber

özellikle AÇ₀ ve AÇ₂ gibi düşük arıtma çamuru uygulama dozlarına sahip konularda kimyasal gübre uygulaması yapılan konularda daha yüksek değerlere rastlanmıştır. SPAD metre ile ölçülen klorofil düzeyi ile toplam klorofil analizi ile elde edilen veriler bir birleri ile uyum göstermektedir.

4.5.3. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde makro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

4.5.3.1. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde azot konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının çim bitkisi üst aksam örneklerinin azot içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.38.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme döneminin çim bitkisi üst aksam azot içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.38. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde azot (%) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	1.55c	2.98a	1.46c	1.53c	1.50D	2.25BC	
AÇ ₂	2.12b	2.42b	1.88bc	2.53ab	2.00C	2.48AB	
AÇ ₄	2.22b	2.47b	2.43ab	2.74a	2.33ABC	2.61AB	
AÇ ₆	2.21b	2.31b	2.93a	3.14a	2.57AB	2.72A	
AÇ ₈	2.21b	2.56ab	2.92a	2.86a	2.57AB	2.71A	
Anova Var.	5.754***		7.121***		2.19	Ort.	2.55
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	7.615***						
Dönem	2.452 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	5.794***						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek azot değeri AÇ₈KG+ konusunda % 2.72 iken en düşük değer % 1.50 ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim üst aksamının azot içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli

şekilde arttırdığı görülmektedir. İstatistiksel olarak da önemli olan bu artış hem KGØ konularında hem de KG+ konularında AÇ₆ dozuna kadar sürmüş ancak AÇ₆ ile AÇ₈ arasında istatistiksel farka rastlanmamıştır. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam azot içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre AÇ₀ ve AÇ₂ konularında istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu açıkça görülmüştür. Ancak diğer konularda gübre uygulamalarının olumlu etkisi gözlenmekle beraber istatistiksel olarak önemsizdir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile çim üst aksam azot içeriğindeki artışı teşvik eder yöndedir. Örneklemeye döneminin çim üst aksam azot içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Jones vd. (1991)'in bildirdiğine göre bermuda çimi için yeterli kabul edilen azot sınır değerleri % 2.20-4.0 arasındadır. Ayrıca bu değerin golf sporunda green ve tee bölgelerindeki çimler için % 6'ya kadar çıkabildiği bildirilmiştir. Green ve tee sahaları golf sporunda daha bakımlı ve kaliteli çime ihtiyaç duyulan özel bölgeleri ifade etmektedir. Aynı kaynaktan yeterli azot düzeyi İngiliz çimi için % 4.5-5.0 aralığında bildirmiştir. Sonuçlar incelendiğinde KGØ'da AÇ₀ ve AÇ₂ dozu dışındaki tüm konuların üst aksam azot değerlerinin bermuda çimi için yeterli kabul edilen sınır değer aralığında olduğu görülmüştür. Sonuçlar İngiliz çimi için verilen azot sınır değerlerine göre değerlendirildiğinde ise konuların tamamı yetersiz bulunmuştur. Severmutlu vd. (2019) yaptıkları çalışmada mikrobiyal gübre uygulamalarının *Lolium perenne* L. türünün çim performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışma sonunda bitkilerin azot konsantrasyonlarını uygulamalara bağlı olarak sonbahar döneminde % 3.98 ile 5.95 arasında ilkbahar döneminde ise % 2.70- 3.24 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Ok (2012) arıtma çamurunun kireçli topraklarda çim yetiştiriciliğinde kullanım imkanlarını araştırdıkları çalışmada bermuda çimlerinin azot içeriklerinin % 1.04-2.71 arasında İngiliz çimlerinde bu değerin % 2.11-5.06 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurlarının her iki çim türünde de düzenli artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.

Arıtma çamurları ile yapılan birçok çalışmada materyalin yüksek azot içerdiği (Navas vd. 1998; Kocaer vd. 2001) ve arıtma çamuru uygulamalarının bitkide azot içeriğini arttırdığı rapor edilmiştir (Sommers ve Nelson 1978; Ok 2012; Özgür 2019). Örneklemeye dönemleri ayrı ayrı incelendiğinde birinci dönemde tespit edilen bitki üst aksam azot değerlerinin ikinci döneme göre bir birine daha yakın değerler aldığını görmekteyiz. İkinci dönem örneklemede ise konuların arasındaki farkın biraz daha açıldığını söylemek mümkündür. Özellikle AÇ₆ ve AÇ₈ arıtma çamuru uygulama dozlarında tespit edilen değerler ikinci dönemde diğer konulardan belirgin şekilde ayrılmaktadır. Bu duruma organik bir materyal olan arıtma çamurunun toprakta kaldığı süreye bağlı olarak geçirdiği mineralizasyonun etki ettiği düşünülmektedir. Birçok araştırmacı toprağa uygulanan organik materyalin mineralizasyonunda inkübasyon süresinin önemli rol oynadığını bildirmiştir (Zengin vd. 1999; Eczacıbaşı vd. 1999). Konu ile ilgili literatür bilgisi göz önünde bulundurularak; yaptığımız bu çalışmada parsellere arıtma çamuru uygulaması yapıldıktan sonra 21 gün süre ile inkübasyona bırakılmıştır. Stolon dikimi bu sürenin sonunda gerçekleştirilmiştir. Sönmez ve Özen (2019) farklı inkübasyon sürelerinin ve artan düzeylerde yapılan vermikompost uygulamalarının, toprakların bitki besin maddesi içerikleri üzerine etkilerini

araştırmışlardır. Bu çalışmada farklı inkübasyon sürelerinin toprakların toplam N içeriği üzerine etkisini istatistiksel olarak önemli bulunmuşlardır. Toprakların toplam N içeriğinin inkübasyon sürelerinin uzamasına bağlı olarak 30.güne kadar arttığı ancak 60. günde azalma eğilimine girdiğini belirlemişlerdir.

Toprak çözeltisinde azotun muhtemel değişimini göz önünde bulundurarak bitki üst aksam azot sonuçlarını değerlendirdiğimizde, birinci örnekleme dönemi süresince minerilizasyon sonucu toprak çözeltisine geçen azotun konular arasında büyük farka sahip olmadığı düşünülmektedir. Arıtma çamurunun diğerlerine göre daha fazla uygulandığı dozlarda ortaya çıkabilecek ekstra azotun da söz konusu parsellerin daha fazla çim vejetatif aksam üreterek tüketmeleri ihtimal dâhilindedir. Çim yaş ve kuru ağırlık verileri bu düşünceyi destekler niteliktedir. Ancak materyalin toprakta kaldığı sürenin uzaması ile birlikte arıtma çamurunun düşük olduğu dozlarda yüksek dozlara göre, toprağa azot geçişinin azalması beklenmektedir. Çünkü zamana bağlı olarak arıtma çamuru toprakta ayrılarak tükenecektir. Bu sürecin arıtma çamuru içeriği az olan konudan çok olan konuya doğru seyretmesi beklenir. Böylece AÇ₆ ve AÇ₈ arıtma çamuru dozlarında tespit edilen bitki üst aksam azot içeriklerinin diğer uygulamalar ile ayrışması daha iyi açıklanmaktadır.

4.5.3.2. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde fosfor konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının çim bitkisi üst aksam örneklerinin fosfor içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.39’de verilmiştir.

Çizelge 4.39.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının çim bitkisi üst aksam fosfor içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunurken, örnekleme döneminin etkisi istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkileşimin çim bitkisi üst aksam örneklerinin fosfor içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek fosfor değeri AÇ₈KG+ konusunda 5395 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 2255 mg kg⁻¹ ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması ile çim üst aksamının fosfor içeriği uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde artış göstermiştir. Bu etki istatistiksel açıdan da yüksek önem arz edecek düzeydedir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam fosfor içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile çim üst

aksam fosfor içeriğindeki artışı teşvik etme yönündedir. Örnekleme döneminin çim üst aksam fosfor içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak düşük önem düzeyindedir.

Çizelge 4.39. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde fosfor (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	2368g	3247f	2143f	3381e	2255F	3314E	
AÇ ₂	3372f	4041de	3461e	4206cd	3416E	4124D	
AÇ ₄	3822e	4576bc	4013d	4651b	3918D	4614BC	
AÇ ₆	4345cd	4823b	4593bc	4890b	4469C	4857B	
AÇ ₈	4400cd	5248a	4713b	5542a	4557C	5395A	
Anova Var.	49.405***		48.889***		3723	Ort.	4461
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	97.520***						
Dönem	5.422*						
AÇXDön.	0.705 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Jones vd. (1991)'in bildirdiğine göre bermuda çimi için yeter kabul edilen fosfor sınır değerleri 2500-6000 mg kg^{-1} arasındadır. Aynı araştırmacı yeterli fosfor düzeyini ingiliz çimi için 3500-4000 mg kg^{-1} aralığında bildirmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde AÇ₀KGØ konusu hariç tüm konularda tespit edilen üst aksam fosfor değerleri bermuda çimi için yeterli kabul edilen sınır değer aralığında olduğu görülmüştür. Fosfor sonuçlarını lolium için verilen fosfor sınır değerlerine göre değerlendirdiğimizde ise AÇ₀KGØ, AÇ₂KGØ ve AÇ₀KG+ konularının fosfor içeriğinin yetersiz; AÇ₄KGØ konusunun yeterli; diğer konularda tespit edilen fosfor değerlerinin ise yüksek olduğunu görüyoruz. Severmutlu vd. (2019) yaptıkları çalışmada mikrobiyal gübre uygulamalarının Lolium perenne L. türünün çim performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışma sonunda bitkilerin fosfor konsantrasyonlarını uygulamalara bağlı olarak sonbahar döneminde 3000-4300 mg kg^{-1} arasında ilkbahar döneminde ise 1700-2200 mg kg^{-1} arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Aritma çamurlarının tarımsal üretimde kullanımı ile ilgili yapılan birçok çalışmada materyalin yüksek fosfor içerdiği (Sommers ve Nelson 1978; Hakerlerler 1980; Anaç vd. 1993; Kyle ve McClintock 1995); kullanımı ile bitki fosfor içeriğini arttırdığı rapor edilmiştir (Jones vd. 1991; EI-Dawwey 1993; Bozkurt vd. 2000). Bozkurt vd. (2000) kentsel arıtma çamuru ve hümkik asit uygulamalarının kireçli bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin besin içeriğine etkisini belirlemek için yaptıkları bir çalışmada arıtma çamuru uygulamalarının toprak ve bitki fosfor içeriğini önemli ölçüde arttırdığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar arıtma çamuru uygulaması ile gözlenen bu etkinin materyalin toprak pH'sında neden olduğu düşüşten ve içerdiği yüksek yarıyışlı fosfor muhtevassından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde denemede kullandığımız arıtma çamurunun da yüksek fosfor içerdiği ve toprak pH'ı üzerinde düşürücü etki yaptığı tespit edilmiştir. Ayrıca arıtma çamurunun minerilize olması aşamasında ortaya çıkan şelatör maddelerinde fosfor alınımını teşvik ettiği

düşünülmektedir (Madrid 2003). Çimrin vd. (2000) kentsel arıtma çamurunun tarımda fosfor kaynağı olarak değerlendirilmesini araştırdıkları bir çalışmada kireçli bir toprakta fosfor kaynağı olarak arıtma çamuru ve TSP (Triple Süper Fosfat) kombinasyonları uygulayarak saksıda mısır yetiştirmişlerdir. Deneme sonunda arıtma çamuru uygulaması ile mısır üst aksam fosfor içeriğinde kontrole göre artış tespit etmişlerdir. Araştırmacılar bitkinin ihtiyaç duyduğu fosforun bir kısmının arıtma çamuru uygulaması ile toprağa verilmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

4.5.3.3. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örneklem zamanının çim bitkisi üst aksam örneklerinin potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.40, 4.41, 4.42 ve 4.43’de verilmiştir.

Çizelge 4.40.’da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının çim bitkisi üst aksam potasyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme döneminin ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi üst aksam potasyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.40. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde potasyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	12970f	24803c	11712f	25831bcd	12341E	25317B	
AÇ ₂	17905e	25725bc	18385e	26861abc	18145D	26293B	
AÇ ₄	20770de	28755ab	21774de	29201ab	21272C	28978A	
AÇ ₆	23023cd	30473a	24340cd	30879a	23681BC	30676A	
AÇ ₈	24038cd	29212ab	25768bcd	30864a	24903B	30038A	
Anova Var.	19.254***		18.437***		20068	Ort.	28260
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	37.382***						
Dönem	1.823 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	0.215 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek potasyum değeri AÇ₆KG+ konusunda 30676 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 12341 ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan

arıtma çamuru çim üst aksamının potasyum içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. İstatistiksel olarak da önemli olan bu artış KGØ konularında AÇ₀ konusundan AÇ₈ konusuna kadar düzenli şekilde takip edilebilirken, KG+ konularında artış gözlenirse de AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ arasında istatistiksel farka rastlanmamıştır.

Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam potasyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı bir değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile artan çim üst aksam potasyum içeriğini değerini teşvik eder yöndedir. Örneklemeye döneminin çim üst aksam potasyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Jones vd. (1991)'in bildirdiğine göre bermuda çimi için yeter kabul edilen potasyum sınır değerleri 1800-3000 mg kg⁻¹ arasındadır. Aynı araştırmacı yeterli potasyum düzeyini İngiliz çimi için 2000-2500 mg kg⁻¹ aralığında bildirmişlerdir. Çalışma sonuçları incelendiğinde AÇ₀KGØ konusu hariç tüm konularda tespit edilen üst aksam potasyum değerleri bermuda çimi için yeterli kabul edilen sınır değer aralığındadır. Potasyum sonuçlarını İngiliz çimi için verilen sınır değerlere göre değerlendirdiğimizde ise AÇ₀KGØ ve AÇ₂KGØ konularının potasyum içeriğinin yetersiz; AÇ₄KGØ, AÇ₆KGØ ve AÇ₈KGØ konularında yeterli; KG+ konularının tamamında ise yüksek olduğunu görüyoruz. Severmutlu vd. (2019) yaptıkları çalışmada mikrobiyal gübre uygulamalarının *Lolium perenne* L. türünün çim performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışma sonunda bitkilerin potasyum konsantrasyonlarını uygulamalara bağlı olarak sonbahar döneminde 2410-3040 mg kg⁻¹ arasında ilkbahar döneminde ise 1390-2090 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Arıtma çamurlarının tarımsal üretimde kullanımı ile ilgili yapılan birçok çalışmada materyalin potasyum içeriğinin düşük olduğu (Sommers ve Nelson 1978; Ok 2012); ancak bitkide potasyum içeriğini yinede arttırdığı bildirilmiştir (Jones vd.1991; EI-Dawwey 1993;). Bununla birlikte literatürde arıtma çamurunun bitkilerin potasyum içeriği üzerine etkisinin olmadığı ya da sınırlı olduğu ile ilgili de çalışmalara rastlamak da mümkündür (Jones vd. 1991; Bozkurt vd. 2000; Özgür 2019). Bozkurt ve Yarılgaç (2003)'ün bildirdiğine göre toprağın potasyum içeriğinin yüksek olduğu durumlarda arıtma çamuru uygulamasının yaprakların potasyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunabilmektedir. Benzer şekilde kullandığımız arıtma çamurunun potasyum içeriği deneme toprağımızın potasyum içeriğinin iki katından biraz fazla olmasına rağmen bitki üst aksamında potasyum artışı kaydedilmiştir. Üstelik bu artış arıtma çamuru uygulamaları ile uyumlu tespit edilmiştir. Bu etki kimyasal gübrelemenin yapılmadığı KGØ konularında daha net fark edilmiş ve istatistiksel önem derecesi daha yüksek belirlenmiştir. Bu noktada daha önce de bahsettiğimiz gibi arıtma çamurunun bitki besin maddesini içeriğinin yanı sıra toprakta neden olduğu bazı değişimler neticesinde besin elementinin yayayışlılığını da olumlu yönde etkileyebildiği düşünülmektedir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamasının bitki üst aksam potasyum içeriğinde yaptığı etki dikkat çekicidir. Bu durum arıtma çamuru uygulanan tarım topraklarında potasyumlu gübreleme yapılmasının faydalı olabileceğini

düşündürmektedir. Özgür (2019) tarafından yapılan çalışmada silajlık mısır yetiştiriciliğinde stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun kullanım imkanları araştırılmıştır. Çalışma neticesinde toprağa artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması ile yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum içeriği azalmış, toplam potasyum içeriği hafif artmıştır. Bitkinin yetiştirme dönemi ortasında alınan yaprak örneklerinde potasyum hafif artmış, bitkinin tüm üst aksamında belirlenen potasyum konsantrasyonlarında azalma gözlenirken koçanlarının potasyum içeriği etkilenmemiştir. Ayrıca bitki köklerinde tespit edilen potasyum içeriğinde de hafif artış gözlenmiştir. Araştırmacı silajlık mısır yetiştiriciliğinde arıtma çamuru uygulaması ile birlikte potasyum gübrenmesinin de yapılmasının verim ve kalite de olumlu sonuçlar doğurabileceğini bildirmiştir.

Çizelge 4.41.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının çim bitkisi üst aksam kalsiyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksyonun çim bitkisi üst aksam kalsiyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.41. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde kalsiyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	17823a	13710ab	16138ab	14309ab	16980AB	14010ABC	
AÇ ₂	17898a	12746ab	18451ab	13283ab	18174A	13014ABC	
AÇ ₄	14838ab	12048ab	15601ab	12330ab	15219AB	12189BC	
AÇ ₆	18359a	11305ab	19305a	11428ab	18832A	11367BC	
AÇ ₈	15138ab	8174b	16235ab	9893b	15686AB	9034C	
Anova Var.	1.751 ^{Ö.D.}		1.350 ^{Ö.D.}		16978	Ort.	11923
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	3.021**						
Dönem	0.189 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	0.061 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekrarı ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek kalsiyum değeri AÇ₆KG+ konusunda 18832 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 9034 mg kg⁻¹ ile AÇ₈KG+ konusunda rastlanmıştır. Yetiştirme ortamlarına artan dozlarda arıtma çamuru uygulamasının çim üst aksam kalsiyum içeriği üzerine etkisi her ne kadar istatistiksel olarak önemli olsa da bu etkinin düzenli bir trend oluşturmadığı görülmüştür. Uygulamaların etkisini genelleme ile ifade etmek mümkün olmamıştır. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam kalsiyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konularda daha yüksek değerlere rastlanmıştır ancak fark sınırlıdır. Örnekleme döneminin çim üst aksam kalsiyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Bozkurt ve Yarılgâç (2003)'ün bildirdiğine göre toprağın kalsiyum içeriğinin yüksek olduğu durumlarda arıtma çamuru uygulamasının yaprakların kalsiyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunabilmektedir. Jones vd. (1991)'in bildirdiğine göre bermuda çimi için yeter kabul edilen kalsiyum sınır değerleri 5000-10000 mg kg⁻¹ arasındadır. İngiliz çimi için bu değer 2500-3000 mg kg⁻¹ olarak bildirmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde AÇ₀KGØ konusu hariç tüm konularda tespit edilen üst aksam kalsiyum değerlerinin 10000 mg kg⁻¹'in üstünde olduğu görülmüştür. Severmutlu vd. (2019) yaptıkları çalışmada mikrobiyal gübre uygulamalarının *Lolium perenne* L. çim türünün performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışma sonunda bitkilerin kalsiyum konsantrasyonlarını uygulamalara bağlı olarak sonbahar döneminde 7300-8900 mg kg⁻¹ arasında ilkbahar döneminde ise 4800-12400 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Ok (2012) arıtma çamurunun kireçli topraklarda çim yetiştiriciliğinde kullanım imkanlarını araştırdıkları çalışmada bermuda çimlerinin kalsiyum içeriklerinin 4700-13400 mg kg⁻¹ arasında İngiliz çimlerinde bu değer 9000-11900 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Çizelge 4.42.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve örnekleme döneminin çim bitkisi üst aksam magnezyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi üst aksam örneklerinin magnezyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.42. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde magnezyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	1984bcd	2088ab	1779d	1953cd	1881C	2021BC	
AÇ ₂	1896bcde	1738bcde	1740d	1992bcd	1818C	1865C	
AÇ ₄	2025abc	1635de	1808d	2431ab	1916C	2033BA	
AÇ ₆	2065abc	1559e	2006bcd	2315abc	2035BC	1937BC	
AÇ ₈	2364a	1687cde	2276bc	2733a	2320A	2210AB	
Anova Var.	4.522**		5.367***		1994	Ort.	2013
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	3.006**						
Dönem	11.915**						
AÇXDön.	7.033***						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek magnezyum değeri AÇ₈KGØ konusunda 2320 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 1818 mg kg⁻¹ ile AÇ₂KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim üst aksamının magnezyum içeriğini KGØ konularında uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. KG+ konuları içinde en yüksek değere AÇ₈ uygulamasında rastlanmakla beraber arıtma çamuru

uygulamaları ile tespit edilen değerler arasında KGØ konularında gözlenene benzer bir ilişki görülmemektedir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam magnezyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde belirgin bir etki görülmemiştir. Örnekleme döneminin etkisi ise istatistiksel olarak düşük önem düzeyinde tespit edilmiş ve dönem değerleri birbirine yakın seyretmiştir.

Menelik vd. (1991)'nin yaptıkları çalışmada buğday yetiştiriciliğinde toprağa arıtma çamuru uygulaması ile bitki magnezyum içeriğinde anlamlı artış sağlanmıştır. Jones vd. (1991)'in bildirdiğine göre bermuda çimi için yeterli kabul edilen magnezyum sınır değerleri 1300-5000 mg kg⁻¹ arasındadır. İngiliz çimi için bu değer 1600-2000 mg kg⁻¹ olarak bildirmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde tüm konularda tespit edilen çim üst aksam magnezyum içerikleri bermuda için yeterli kabul edilen sınır aralığındadır. Magnezyum sonuçlarını İngiliz çimi için verilen sınır değerlere göre değerlendirdiğimizde ise tespit edilen değerlerin yeterli ya da yüksek düzeyde olduğunu görüyoruz. Ok (2012)'nin arıtma çamurunun kireçli topraklarda çim yetiştiriciliğinde kullanım imkânını araştırdığı çalışmada bermuda çimlerinin magnezyum içeriklerinin 2100-3000 mg kg⁻¹ arasında İngiliz çimlerinde bu değer 1000-3100 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Çizelge 4.43.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının çim bitkisi üst aksam sodyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme döneminin ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksyonun çim bitkisi üst aksam sodyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.43. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde sodyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	330c	504b	163e	262cde	247F	383CDEF	
AÇ ₂	379bc	498bc	169de	260cde	274EF	379CDEF	
AÇ ₄	342bc	717a	312bcde	589a	327DEF	653A	
AÇ ₆	387bc	435bc	397abcd	434abc	392BCDE	435BCD	
AÇ ₈	427bc	435bc	518ab	610a	472BC	522B	
Anova Var.	4.717**		5.277***		342	Ort.	474
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	7.468***						
Dönem	7.047*						
AÇXDön.	2.703*						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek sodyum değeri AÇ₄KG+ konusunda 653 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 247 mg kg⁻¹ ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim üst aksamının sodyum içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu duruma tek istisna AÇ₄KG+

konusu olmakla beraber genelleme yapılmasına engel teşkil etmemektedir. Bu etki istatistiksel olarak da yüksek önem düzeyinde bulunmuş ve konuların aldığı harf değerlerinde açıkça ifade edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam sodyum içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile artan çim üst aksam sodyum değerini teşvik eder yöndedir. Aynı arıtma çamuru dozlarında kimyasal gübre uygulaması yapılan parsellerden alınan örneklerin sodyum içeriği kimyasal gübre uygulaması yapılmayanlardan alınanlara göre daha yüksek tespit edilmiştir. Örneklem döneminin etkisi ise istatistiksel olarak düşük önem düzeyinde tespit edilmiş ve dönem değerleri birbirine yakın seyretmiştir.

4.5.4. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde mikro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

4.5.4.1. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde demir, çinko, mangan, bakır konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örneklem zamanının çim bitkisi üst aksam örneklerinin demir, çinko, mangan ve bakır içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.44, 4.45, 4.46 ve 4.47’de verilmiştir.

Çizelge 4.44.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve örneklem döneminin çim bitkisi üst aksam demir içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki interaksiyonun etkisi ise istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemlidir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek demir değeri AÇ₀KGØ konusunda 1121 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 336 mg kg⁻¹ ile AÇ₈KG+ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim üst aksam demir içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde azalttığı görülmektedir. Bu duruma tek istisna AÇ₆KG+ konusu olmakla beraber genelleme yapılmasına engel teşkil etmemektedir. Bu etki istatistiksel olarak da yüksek önem düzeyinde bulunmuş ve konuların harflendirilmesindeki değişim ile açıkça ifade edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam demir içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin AÇ₀ ve AÇ₂ konularında aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı bir değişime neden olduğu açıkça görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara daha düşük demir değerlerine rastlanması şeklinde ortaya çıkmıştır. Örneklem döneminin etkisi ise istatistiksel olarak önemlidir. İkinci

örnekleme döneminde tüm konularda birinci örnekleme dönemine kıyasla daha düşük değerler kaydedilmiştir.

Çizelge 4.44. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde demir (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	1541a	431bc	701bcd	430a	1121A	431CD	
AÇ ₂	751b	570bc	629ab	255d	690B	413CD	
AÇ ₄	659bc	538bc	569abc	333cd	614BC	436CD	
AÇ ₆	689bc	585bc	365cd	378bcd	527BCD	481BCD	
AÇ ₈	676bc	344c	385bcd	327cd	530BCD	336D	
Anova Var.	7.909***		3.223**		696	Ort.	419
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	9.870***						
Dönem	28.861***						
AÇXDön.	2.871**						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Çalışmada arıtma çamuru uygulamaları ile üst aksam demir içeriğinde kontrole göre düşüş gözlenmiştir. Ancak tüm konularda tespit edilen demir içerikleri Jones vd. (1991)'in çim bitkisi için bildirdiği değerlendirmeye göre “yüksek” sınıfındadır. Kacar ve Katkat (2007)'ye göre bitkilerde bulunan demirin genellikle 10–1000 mg kg⁻¹ arasında değiştiği, yeterli demir miktarının 50–250 mg kg⁻¹ arasında olduğu ve 50 mg kg⁻¹'dan az demir içeren bitkilerde demir eksikliği belirtilerinin görüldüğü belirlenmiştir (Daşdemir 2015). Ok (2012) tarafından yapılan çalışmada % 8 kireç içeren toprağa uygulanan arıtma çamurunun bermuda ve İngiliz çimi yapraklarının demir içeriğini kontrole göre düşürdüğü bildirilmiştir. Akat vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada toprağa artan dozlarda uygulanan arıtma çamuruna bağlı olarak gül bitkisi üst aksam demir içeriğinin arttığı bildirilmiştir. Çakır ve Çimrin (2018) yaptıkları çalışmada toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun bitkide ve toprakta mikro besin elementi ve ağır metal içerikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar arıtma çamuru uygulamaları ile mısır sürgünlerinde demir içeriğinin arttığını tespit etmişlerdir. Çalışma sonuçları genel literatür ile uyumludur. Farklı çalışmalarda birbiriyle çelişen sonuçlara rastlanmak da mümkündür. Arıtma çamurlarının içeriği ve kimyasal özelliği onu meydana getiren birçok faktörün etkisinde özelleşmektedir. Ayrıca denemede tercih edilen toprak ve bitki özellikleri de sonuç üzerinde etkili diğer parametreler olduğu için değişen şartların farklı sonuçlar doğurması mümkündür. Artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile bitki üst aksam demir içeriğinde gözlenen düşüş parsellerden kaldırılan biyokütle ile birlikte değerlendirildiğinde, demirde gözlenen değişim üzerinde seyrelme etkisinin belirleyici rol oynadığı düşünülmektedir. Çalışmada bitki üst aksam demir konsantrasyonu ile ilgili herhangi bir risk ile karşılaşılmamış tüm konular yeterli veya üzerinde sınıflandırılmıştır.

Çizelge 4.45.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve örnekleme döneminin çim bitkisi üst aksam çinko içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi üst aksam çinko içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.45. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde çinko (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	43.18d	48.13d	41.39fg	38.05g	42.29E	43.09E	
AÇ ₂	62.62cd	46.51d	51.10de	56.81d	56.86DE	51.66DE	
AÇ ₄	78.22bcd	71.80bcd	47.55ef	53.76de	62.89CD	62.78CD	
AÇ ₆	85.77bc	101.20b	65.31c	67.58c	75.54BC	84.39B	
AÇ ₈	77.80bcd	163.90a	83.07b	95.39a	80.44B	129.65A	
Anova Var.	10.052***		63.232***		63.60	Ort.	73.31
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	20.396***						
Dönem	24.548***						
AÇXDön.	3.971**						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek çinko değeri AÇ₈KG+ konusunda $129.65 \text{ mg kg}^{-1}$ iken en düşük değer 42.29 mg kg^{-1} ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim üst aksamının çinko içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel olarak da yüksek önem düzeyinde bulunmuş ve konuların aldığı harf değerlerinde açıkça ifade edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam çinko içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre istatistiki açıdan önemli ve anlamlı değişime neden olduğu görülmektedir. Kimyasal gübre uygulaması ile gözlenen bu etki, özellikle AÇ₆ ve AÇ₈ konularında artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile artan çim üst aksam çinko içeriğini daha da arttırmıştır. Örnekleme döneminin etkisi ise istatistiksel olarak önemli olmakla beraber aynı konularda tespit edilen çinko içerikleri kıyaslandığında birinci örnekleme döneminde elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kloke (1985)'in bildirdiğine göre bitkilerde çinko için izin verilen sınır değerler $5-100 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmektedir. Jones vd. (1991)'in bildirdiğine göre bermuda çimi için yeterli kabul edilen çinko sınır değerleri $20-250 \text{ mg kg}^{-1}$ arasındadır. İngiliz çimi için bu değer $14 - 20 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bildirilmiştir. Özbek vd. (1995)'in bildirdiğine göre bitkilerin çinko içerikleri normal şartlarda $5-100 \text{ mg kg}^{-1}$ arasındadır. Toksite genellikle bitkinin çinko içeriği 400 mg kg^{-1} 'den büyük olduğunda görülmektedir.

Çalışma sonuçları incelendiğinde tüm konularda tespit edilen çim üst aksam çinko içerikleri bermuda için yeterli kabul edilen sınır aralığındadır. Bu sonuçları İngiliz çimi için verilen sınır değerlere göre değerlendirdiğimizde ise hepsinin “yüksek” olarak sınıflandırıldığını görüyoruz.

Arıtma çamurunun kireçli toprakta çim yetiştiriciliğinde kullanım imkanının araştırıldığı bir çalışmada bermuda çimlerinin çinko içeriklerini 15.83- 44.86 mg kg⁻¹ arasında İngiliz çimlerinde ise bu değer 28.23-71.56 mg kg⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir (Ok 2012). Küçükhemek vd. (2006) çim yetiştiriciliğinde evsel karakterli atık su arıtma çamurlarının kullanımını araştırdıkları çalışmada dört farklı düzeyde arıtma çamurunu (0/kontrol, 4, 8 ve 12 ton da⁻¹), iki yıl süreyle toprağa uygulanmışlardır. Deneme sonunda uygulamaların çim bitkisinin ağır metal içeriği üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen iki yıllık verilere göre; arıtma çamuru uygulamaları kontrole göre çim bitkisinin çinko içeriğini önemli düzeyde artırmıştır. Söz konusu artış toksik değerler oldukça altında kalmıştır. Kontrol uygulamasındaki bitkilerde çinko eksikliği tespit edilirken arıtma çamuru uygulanan tüm konularda (4, 8 ve 12 t da⁻¹) bitkilerin çinko içeriği yeterli bulunmuştur. Araştırma sonucunda sanayi atığının karışmadığı atık sudan elde edilen arıtma çamurlarının besin elementlerince fakir bir toprakta 4- 12 t da⁻¹ düzeylerinde uygulanmasının toprak iyileştiricisi olarak etki edebileceğini ve çinko eksikliğinin toksisite yaratmadan giderme potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir.

Çizelge 4.46.’da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve örneklem döneminin çim bitkisi üst aksam mangan içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi üst aksam mangan içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.46. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde mangan (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	135.08a	96.05c	83.80a	75.70ab	109.43A	85.88B	
AÇ ₂	98.90bc	95.32c	63.50bc	64.40bc	81.20B	79.86B	
AÇ ₄	98.10bc	102.02bc	62.80bc	52.40cd	80.42B	77.21B	
AÇ ₆	97.13c	88.73c	50.20cd	54.10cd	73.64B	71.42B	
AÇ ₈	120.65ab	58.51d	65.20d	42.60d	82.28B	50.56C	
Anova Var.	7.418***		6.716***		85.39	Ort.	72.99
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	10.547***						
Dönem	198.168***						
AÇXDön.	3.823**						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek mangan değeri AÇ₀KGØ konusunda 109.43 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 50.56 mg kg⁻¹ ile AÇ₈KG+ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim üst aksam mangan içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde azalttığı açıkça görülmektedir. Hem KGØ hem de KG+ konularında en yüksek mangan değerlerine AÇ₀ konularında tespit edilmiştir. Arıtma çamuru uygulamaları bitki mangan içeriğini azaltmıştır. Ancak farklar oransal olarak küçük kaldığı için AÇ₀KGØ ile AÇ₈KG+ konuları dışında hepsi aynı harfler ile ifade edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının etkisi incelendiğinde arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre AÇ₀KGØ ve AÇ₈KG+ konuları haricinde etkisinin olmadığı görülmektedir. AÇ₀ ve AÇ₈ konularında da kimyasal gübre uygulaması yapılmayan konularda daha yüksek mangan değerleri tespit edilmiştir. Örnekleme döneminin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Aynı konularda tespit edilen mangan içerikleri kıyaslandığında birinci örnekleme döneminde elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çalışmada arıtma çamuru uygulamaları ile üst aksam mangan içeriği düşüş göstermiştir. Ancak tüm konularda tespit edilen mangan içerikleri Jones vd. (1991)'in bermuda çimi için bildirdiği değerlendirmeye göre “yeterli”; İngiliz çimi için bildirdiği değerlendirmeye göre de AÇ₈KG+ için “yeterli”; diğer tüm konular için “yüksek” sınıfına dahildir. Kacar ve Katkat (2007) bildirdiğine göre 100 mg kg⁻¹'dan yüksek mangan içeren bitkilerde toksiteye rastlanabilir. Ok (2012) tarafından yapılan çalışmada kireçli toprağa uygulanan arıtma çamurunun bermuda ve İngiliz çimi yapraklarında mangan içeriğini kontrole göre düşürdüğü bildirilmiştir. Menelik vd. (1991)'in buğday bitkisinde tarla denemesi olarak yürüttüğü çalışmada arıtma çamuru uygulamalarının bitkinin mangan içeriğini kontrole göre düşürdüğünü bildirmişlerdir. Akat vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada toprağa artan dozlarda uygulanan arıtma çamuruna bağlı olarak gül bitkisi üst aksam mangan içeriğinin arttığı bildirilmiştir.

Çizelge 4.47.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi üst aksam bakır içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek bakır değeri AÇ₂KG+ konusunda 17.52 mg kg⁻¹ iken en düşük değere 4.92 mg kg⁻¹ ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemli olmakla birlikte değerler incelendiğinde anlamlı bir trend tespit edilememiştir. Arıtma çamuru ve kimyasal gübre uygulaması yapılmayan AÇ₀KGØ konusunda en düşük değere rastlanırken kimyasal gübre uygulanmayan KGØ konularında arıtma çamuru uygulamaları ile bitki üst aksam bakır içeriğinde düzenli artış gözlenmektedir. KG+ konularında ise böyle bir durum yoktur. Ayrıca bu konularda tespit edilen en yüksek bakır değerlerinden biri de AÇ₀ uygulamasıdır. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam bakır içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin, aynı arıtma çamuru dozunda kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre AÇ₀ ve AÇ₂ konularında bitki üst aksam bakır içeriğini arttırıcı etkisine rastlanmıştır. Ancak diğer arıtma çamuru dozlarında bu etki ya

istatistiksel olarak önemsiz kalmıştır ya da tam tersi yönde teşekkül etmiştir. Örnekleme döneminin etkisi istatistiksel olarak önemli tespit edilmiştir. Aynı konularda tespit edilen bakır içerikleri kıyaslandığında birinci örnekleme döneminde elde edilen değerlerin bariz şekilde ikinci örnekleme dönemindeki değerlerden yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.47. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde bakır (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	5.73e	27.59a	4.10d	7.20abc	4.92D	17.37A	
AÇ ₂	10.44de	27.38a	6.30c	7.70abc	8.37C	17.52A	
AÇ ₄	21.08abc	19.78bc	7.90ab	8.30a	14.49AB	14.01AB	
AÇ ₆	26.34ab	14.53cd	7.40abc	8.50a	16.87A	11.49BC	
AÇ ₈	26.92a	17.71c	6.70bc	8.30a	16.81A	13.00B	
Anova Var.	11.823***		7.674***		12.29	Ort.	14.68
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	13.557***						
Dönem	301.342***						
AÇXDön.	9.736***						

1. Değerler 4 tekrarı ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Tarım topraklarının toplam bakır içeriği genellikle 2–100 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Tisdale vd. 1985). Holmes (1943)'ün bildirdiğine göre tarım topraklarında rastlanan bakır konsantrasyonları 6–67 mg kg⁻¹ arasında değişmekle birlikte topraktaki bakır konsantrasyonunun < 3 mg kg⁻¹ olması durumunda bu topraklarda yetiştirilen bitkilerde bakır noksanlığı görülebilmektedir. Sossé vd. (2004)'ün bildirdiğine göre toprağın bakır içeriğinin 100 mg kg⁻¹, bitkinin ise 15-30 mg kg⁻¹'dan fazla olması durumunda bakır toksisite riski yüksektir. Sommer (1945)'in bildirdiğine göre bitkilerin bakır gereksinimi oldukça düşük olduğu için yarayışlı bakır içeriğinin yüksek olduğu topraklarda bitkilerde bakır toksisitesine rastlamak mümkündür. Sönmez vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada Antalya'da örnekleme yapılan seraların % 8'inde toprağın bakır içeriği toksisite sınırının üstünde tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada yaprak örneklerinde de yüksek ve toksik bakır dozlarına rastlandığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar bu durumun yapraktan uygulanan bakır gübrelemesinden kaynaklandığını düşünmüşlerdir.

Jones vd. (1991)'e göre yeterli kabul edilen bakır sınır değerleri bitkide bermuda çimi için 5-50 mg kg⁻¹; İngiliz çimi için 6–7 mg kg⁻¹ olarak bildirilmiştir. Çalışma sonuçları Jones vd. (1991)'e göre değerlendirildiğinde bermuda çimi için geçerli olan sınır değerlere göre AÇ₀KGØ konusu “düşük” diğer tüm konular “yeterli” sınıfında yer alırken İngiliz çimi için bildirilen sınır değerlere göre değerlendirirsek AÇ₀KGØ konusu “noksan”; diğer tüm konular “yüksek” sınıfına dahildir. Küçükhemek vd. (2005) çim alan tesisinde arıtma çamuru uygulamasının etkilerini değerlendirmek amacıyla yaptıkları bir çalışmada arıtma çamuru, dört farklı düzeyde (0/kontrol, 4, 8 ve 12 ton da⁻¹), iki yıl süreyle arazi şartlarında uygulanmıştır. Elde ettikleri iki yıllık

verilere göre; arıtma çamuru uygulamalarının kontrole göre, çim bitkisinin bakır içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar arıtma çamurunun çim bitkisi ağır metal içeriğinde neden olduğu artış sıralamasının $Pb > Zn > Cr > Cu > Ni$ şeklinde gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Berthet vd. (1989)'un bildirdiğine göre toprağa arıtma çamuru uygulaması ile toprakta ve bitkideki bakır birikimi sınırlı kalmaktadır. Araştırmacı bu duruma bakırın biyo-yararlılığının düşük olmasının sebep olabileceğini bildirmiştir. Gardiner vd. (1995) beş yıl boyunca kireçli bir toprağa dekara 2 ton olacak şekilde uygulanan arıtma çamurunun deneme bitkileri olan arpa ve ıspanakta ağır metal birikimine etkilerini incelemişlerdir. Arıtma çamuru uygulamaları ile her iki bitkide de bakır kapsamalarının kadmiyuma nazaran daha az arttığını belirtmişlerdir. Tespit edilen bakır değerlerinin toksik sınırın altında kaldığını bildirmişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki genel verilerle paralellik göstermektedir.

4.5.5. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

4.5.5.1. Çim bitkisi üst aksam örneklerinde kurşun, kadmiyum, krom ve nikel konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının çim bitkisi üst aksam örneklerinin kurşun, kadmiyum, krom ve nikel içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.48, 4.49, 4.50 ve 4.51’de verilmiştir.

Çizelge 4.48.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi üst aksam kurşun içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dönemler ayrı ayrı incelendiğinde de yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların çim üst aksam örneklerinin kurşun içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde kurşun konsantrasyonlarına etkisini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde 1. ve 2. döneme ait uygulama konularından bazıları cihazın kurşun elementi için ölçüm limiti olan 0.03 mg kg^{-1} ’dan daha düşük değerde olduğu için belirlenememiştir. Yapılan istatistiksel analizde bu konuların kurşun konsantrasyonları sıfır olarak kabul edilmiştir.

Arıtma çamurunun tarımsal üretimde kontrolsüz kullanılması sonucu çevre ve insan sağlığı için risk oluşturan durumların doğduğu bilinmektedir. Bu riskler arasında en önemlilerinden biri arıtma çamurunun toprakta ve bitkide sebep olduğu ağır metal toksitesidir (Sommers 1977). Ağır metal toksitesi içinde kurşun özellikle dikkat edilmesi gereken elementlerdendir. Endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu yaygın olarak ortaya çıkmaları (Li ve Liu 2001; Öktüren Asri ve Sönmez 2006) ve bitkide neden olduğu biyokimyasal olumsuzluklar nedeniyle yüksek risklidir. Bitkide kurşun

toksitesi ile hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesi bozulduğu bilinmektedir. Stoma hareketliliğinin ve yaprak alanının azalmasına neden olduğu için bitki su rejimini de olumsuz etkiler. Genelde bitkiler tarafından rizostabilizasyona uğraması nedeniyle kök gelişimini zayıflatır. Bitkide sebep olduğu değişimlerin doğal sonucu olarak bitkilerin besin elementi alınımı azalır, büyüme ve gelişme geriler (Sharma ve Dubey 2005).

Çizelge 4.48. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde kurşun (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	D.L.	D.L.	0.769	1.375	0.38	0.69	
AÇ ₂	D.L.	D.L.	0.254	1.142	0.13	0.57	
AÇ ₄	D.L.	D.L.	D.L.	0.258	D.L.	0.13	
AÇ ₆	D.L.	D.L.	D.L.	0.312	D.L.	0.16	
AÇ ₈	D.L.	D.L.	0.962	D.L.	0.48	D.L.	
Anova Var.	1.286 ^{Ö.D.}		0.843 ^{Ö.D.}		0.20	Ort.	0.31
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	1.281 ^{Ö.D.}						
Dönem	3.603 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	1.280 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. Pb için D.L.< 0.03 mg kg⁻¹.

Aritma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi kurşun içeriğinde kontrole göre bir miktar artış gözlemlendiğini ancak tespit edilen değerlerin toksik sınırın oldukça altında kaldığını bildiren çok sayıda çalışma vardır (Küçükhemek vd. 2005; Küçükhemek vd. 2006). Madyiwa vd. (2002)'nin toprağa arıtma çamuru uygulamasının çim yetiştiriciliğinde kullanım imkanını araştırdıkları bir çalışmada bitkilerin kurşun içeriğini 1.0–1.5 mg kg⁻¹ arasında tespit etmişlerdir. Chimbary vd. (2001)'in yaptıkları bir çalışmada atık su ile sulanan çim bitkilerinde kurşun içeriğinin 0.5–1.5 mg kg⁻¹ değerleri arasında dağıldığını değerlerin aritmetik ortalamasının ise 1.07 mg kg⁻¹ olarak tespit edildiğini bildirmişlerdir. Ok (2012) tarafında yapılan çalışmada kireçli topraklarda çim bitkisi yetiştiriciliğinde arıtma çamurunun kullanım imkânı ve ağır metal riski değerlendirilmiştir. Çim üst aksamında yapılan analizlerde bitki kurşun içeriğinin 0.101-2.21 mg kg⁻¹ arasında değiştiği ve arıtma çamuru uygulamalarının bitki kurşun içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.49.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkileşimin çim bitkisi üst aksam kadmiyum içeriğine etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dönemler ayrı ayrı incelendiğinde birinci örnekleme döneminde uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuş ikinci dönemde ise anlamlı bir trend gözlenmemiştir.

Çizelge 4.49. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde kadmiyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	0.284ab	1.554ab	1.945a	2.179a	1.11AB	1.87AB	
AÇ ₂	D.L.b	0.695ab	0.667c	2.051a	0.33B	1.37AB	
AÇ ₄	1.292ab	1.660ab	0.785c	1.329b	1.04AB	1.24AB	
AÇ ₆	3.791a	0.663ab	0.699c	0.423c	2.24A	0.54AB	
AÇ ₈	1.033ab	0.280ab	1.769ab	0.236c	1.40AB	0.26B	
Anova Var.	1.042 ^{Ö.D.}		16.816***		1.22	Ort.	1.06
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	1.435 ^{Ö.D.}						
Dönem	0.154 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	1.531 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. Cd için D.L.< 0.05 mg kg^{-1} .

Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde kadmiyum konsantrasyonlarına etkisini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde 1. döneme ait AÇ₂KGØ konusunda kadmiyum konsantrasyonu cihazın kadmiyum elementi için ölçüm limiti olan 0.05 mg kg^{-1} 'den daha düşük olduğu için belirlenememiştir. Yapılan istatistiksel analizde bu konunun kadmiyum konsantrasyonu sıfır olarak kabul edilmiştir.

Kadmiyumun tarım topraklarına girişi ve yayılmasına sebep olan etkenler arasında endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler, atmosferik depozitler ile birlikte lağım atıkları da sayılmaktadır (Haktanır 1987). Ancak arıtma çamuru uygulamalarının toprakta ve bitkide kadmiyum toksitesine neden olmadığını bildiren çok sayıda çalışmaya rastlamakta mümkündür. Küçükhemek vd. (2005)'in bildirdiğine göre arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi kadmiyum içeriğinde toksiteye rastlanmamıştır. Küçükhemek vd. (2006)'nın yaptığı çalışmada toprağa uygulanan evsel karakterli atık su arıtma çamurunun çim bitkisinin ağır metal (Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd) içeriği üzerine etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda arıtma çamuru uygulamalarının çim bitkisinin toplam kadmiyum içeriğini belirlemek üzere yaptıkları analizler neticesinde deneme parsellerinden alınan çim bitkisi örneklerinde kadmiyum içeriğinin ölçülemeyecek kadar az olduğunu bildirmişlerdir. Küçükhemek vd. (2008) çim üretiminde arıtma çamuru ve ahır gübresi kullanım imkânlarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada arıtma çamuru uygulamasının kontrole göre bitkinin kadmiyum içeriğinde bir farka neden olmadığını; elde edilen kadmiyum sonuçlarının cihazın ölçüm limitlerinin altında kaldığını bildirmişlerdir. Özbek vd. (1995)'in bildirdiğine göre bitki kuru maddesinin 1 mg kg^{-1} 'den fazla kadmiyum içermesi toksite riski yaratabilmektedir. Kadmiyum toksitesinin bitkide ki en önemli zararları arasında klorofil biyosentezinin bozulması (Zengin ve Munzuroğlu 2005) ve bitkilerin nitrat asimilasyonunu azaltarak azot metabolizmasının bozulması (Gouia vd. 2000) gösterilebilir.

Çizelge 4.50. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde krom (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	11.13a	9.17ab	9.77a	8.90ab	10.45A	9.04AB	
AÇ ₂	7.05abc	6.56abc	7.53ab	6.18b	7.29BC	6.37BCD	
AÇ ₄	3.40c	6.57abc	6.79ab	5.98b	5.09CD	6.27BCD	
AÇ ₆	2.17c	4.80bc	5.62b	7.07ab	3.90D	5.94CD	
AÇ ₈	6.62abc	2.77c	5.60b	6.56ab	6.11CD	4.66CD	
Anova Var.	3.580**		1.904 ^{Ö.D.}		6.57	Ort.	6.46
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	4.842***						
Dönem	2.912 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	1.269 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.50.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının çim bitkisi üst aksam krom içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme döneminin ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi üst aksam krom içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek krom değeri AÇ₀KGØ konusunda 10.45 mg kg^{-1} iken en düşük değer 3.90 mg kg^{-1} ile AÇ₆KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim üst aksam krom içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde azalttığı açıkça görülmektedir. Bu duruma sadece AÇ₈KGØ konusu istisna teşkil etmektedir. Hem KGØ hem de KG+ uygulamalarında en yüksek krom değerlerine AÇ₀ konularında tespit edilirken artan arıtma çamuru uygulamaları ile krom içeriğinin düzenli şekilde azaldığı görülmektedir. Ancak farklar oransal olarak küçük kaldığı için bazı konular arasındaki fark önemsiz tespit edilmiş ve aynı harfle ifade edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam krom içeriği üzerine etkisi incelendiğinde ise bariz bir etki görülmemekle beraber AÇ₀ uygulamaları haricindeki KGØ konularında göreceli olarak biraz daha düşük değerlere rastlanmaktadır. Örnekleme döneminin çim üst aksam krom içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çalışmada artan arıtma çamuru uygulamaları ile bitki üst aksam krom içeriğinin azaldığı görülmektedir. Kullanılan arıtma çamurunun krom içeriği (38.26 mg kg^{-1}) deneme toprağından (44.77 mg kg^{-1}) bile daha düşüktür. Bu durum sonuç üzerinde etkili olmuştur. Ayrıca arıtma çamuru uygulamaları ile toprağa verilen bitki besin elementlerinin sağladığı verim artışı neticesinde bitkinin krom içeriğinin seyreltiği düşünülmektedir. Ok (2012) tarafında yapılan çalışmada kireçli topraklarda çim bitkisi yetiştiriciliğinde arıtma çamurunun kullanım imkânı ve ağır metal riski değerlendirilmiştir. % 19.4 oranında kireç içeren toprakta yetiştirilen lolium çimlerinin üst aksam krom içeriğinin artan arıtma çamuru uygulamaları ile düştüğü bildirilmiştir.

Wallace vd. (1976)'nın bildirdiğine göre krom toksisitesi belirtilerinin görüldüğü bitki yapraklarında yapılan analizlerde krom konsantrasyonunun 1-4 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir. Ayrıca bitki köklerinde ise bu değerin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bununla beraber krom toksisitesi için çok daha yüksek sınır değer bildiren araştırmacılara da rastlamak mümkündür. Krom içeriği 100 mg kg⁻¹'dan yüksek olan bitkilerde toksisiteye rastlanabileceği bildirilmiştir (Özbek vd.1995). Daha düşük sınır değer bildiren literatürlerde mevcuttur (FAO/WHO 2003). Bitkide krom toksisitesinin ilk fizyolojik işareti tohum çimlenmesinin olumsuz etkilenmesidir (Jain vd. 2000). Ayrıca kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini zayıflatır. Böylece başta bitki su alımını ve buna bağlı besin maddelerinin köke girişi azalır. Bu durum büyüme gelişmenin yavaşlamasına yol açarak verim ve kalitede düşüşe neden olur (Khan vd. 2000). Ayrıca fotosentetik pigment ve antioksidan enzimlerinin bozulması ile bitkide oksidatif strese neden olduğu gibi hücre zarın da tahrip olmasına neden olmaktadır (Kacar ve İnal 2010).

Çizelge 4.51.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi üst aksam nikel içeriğine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.51. Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde nikel (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	12.48cd	21.97bc	D.L.c	0.62c	6.24C	11.29BC	
AÇ ₂	7.85d	29.39ab	9.11a	D.L.c	8.48C	14.70AB	
AÇ ₄	25.26ab	31.48ab	4.65b	D.L.c	14.95AB	15.74AB	
AÇ ₆	36.56a	33.93ab	5.22b	0.56c	20.89A	17.24AB	
AÇ ₈	36.55a	11.16cd	D.L.c	1.05c	18.28A	6.10C	
Anova Var.	7.377***		11.140***		13.77	Ort.	13.01
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	6.270***						
Dönem	301.902***						
AÇXDön.	8.879***						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. Ni için D.L.< 0.05 mg kg⁻¹.

Uygulamaların çim bitkisi üst aksam örneklerinde nikel konsantrasyonlarına etkisini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde 2. döneme ait bazı örneklerde nikel konsantrasyonu cihazın nikel elementi için ölçüm limiti olan 0.05 mg kg⁻¹'dan daha düşük olduğu için belirlenememiştir. Yapılan istatistiksel analizde bu örneklerin kadmiyum konsantrasyonları sıfır olarak kabul edilmiştir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim üst aksam örneklerinde tespit edilen en yüksek nikel değeri AÇ₆KGØ konusunda 20.89 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 6.10 mg kg⁻¹ ile AÇ₈KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim üst aksam nikel içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve

düzenli şekilde AÇ₆ konularına kadar arttırdığı açıkça görülmektedir. KGØ ve KG+ konularında en büyük değerlere AÇ₆ uygulamalarında rastlanmıştır. AÇ₈KG+ konusunda tespit edilen nikel değeri hariç hem KGØ hem de KG+ uygulamalarında en düşük değerlere AÇ₀ konularında rastlanmıştır. Ancak farklar oransal olarak küçük kaldığı için bazı konular arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz tespit edilmiş ve aynı harfle ifade edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim üst aksam nikel içeriği üzerine etkisi incelendiğinde ise bariz bir etki görülmemekle beraber AÇ₆ uygulamalarına kadar KG+ konularının göreceli olarak biraz daha yüksek değerlere rastlanmaktadır. AÇ₆ ve AÇ₈ konularında bu durum KGØ lehine değişmiştir. Örneklemeye döneminin çim üst aksam nikel içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Birinci örneklemeye döneminde tespit edilen nikel değerlerinin ikinci örneklemeye dönemine göre oldukça yüksek olduğu saptanmakla beraber ikinci örneklemeye döneminde bazı konularda nikel içeriği o kadar azalmıştır ki cihazın dedeksiyon limitlerinin altında kalmıştır.

Mutlak gerekli elementlerden biri olarak kabul edilen nikelin (Marschner 1995; Asri ve Sönmez 2006) bitkiler için yararlı bir element olduğuna dair tartışmalar günümüzde de sürmektedir (Kacar ve Katkat 1998). Nikelin tarım topraklarındaki konsantrasyonu genelde düşük olmasına rağmen toprakta yetişen bitkilerde noksanlığına rastlanmaz (Bollard 1983, Asher 1991). Nikelin toprakta kritik toksik düzeyi 100 mg kg⁻¹, duyarlı bitkilerde > 10 mg kg⁻¹ ve orta düzeyde duyarlı bitkilerde ise > 50 mg kg⁻¹ olarak bildirilmiştir (Özbek vd. 1995). Nikel toksitesi klorofil sentezi ve yağ metabolizması üzerine olumsuz etki yapar, bitki köklerinin diğer besin elementlerini almasını engelleyerek besin elementleri noksanlıklarının ortaya çıkmasına neden olur (Zengin ve Munzuroğlu 2005). Nikel üreaz ve birçok hidrogenaz enzimlerinin metal yapı maddesidir. Bu nedenle nikel içerikleri az olan bitkiler üre şeklinde uygulanan azotlu gübreden yararlanamadıkları gibi üre bu bitkilere toksik etki de yapmaktadır (Kacar ve Katkat, 2006). Tarımsal açıdan nikel genelde toksisite olarak karşımıza çıkar. Toksisite problemi ile kanalizasyon atıklarının kullanıldığı alanlarda daha sık karşılaşılır (Küçükhemek 2006).

Antoniadis ve Alloway (2002) tarafından yapılan çalışmada toprağa arıtma çamuru uygulaması yapılarak çim yetiştirilmiştir. Araştırmacı uygulama neticesinde toprakta çözünabilir organik karbon miktarının arttığını bu duruma bağlı olarak bitki tarafından nikelin alınabilirliğinde artış gözlemlendiğini bildirmiştir. Küçükhemek vd. (2006) çim yetiştiriciliğinde evsel karakterli atık su arıtma çamurlarının kullanımını araştırdıkları bir çalışmada dört farklı düzeyde arıtma çamurunu (0/kontrol, 4, 8 ve 12 ton da⁻¹), iki yıl süreyle toprağa uygulanmışlardır. Deneme sonunda uygulamaların çim bitkisinin ağır metal içeriği üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen iki yıllık verilere göre; arıtma çamuru uygulamaları kontrole göre çim bitkisinin nikel içeriğini önemli düzeyde artırmıştır. Çim bitkisinde nikel içeriği kontrolde 10.9 mg kg⁻¹, 4t da⁻¹ arıtma çamuru uygulamasında 14.1 mg kg⁻¹, 8 t da⁻¹ arıtma çamuru uygulamasında 13.7 mg kg⁻¹, 12t da⁻¹ arıtma çamuru uygulamasında ise 13.8 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Arıtma çamuru uygulamalarında çim bitkisinde nikel içeriği, minimum 6.8 mg kg⁻¹, maksimum 36.3 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular literatür ile uyum gösterdiği gibi bitkilerde toksisiteye de rastlanmamıştır.

4.5.6. Çim bitkisi kök örneklerinde makro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

4.5.6.1. Çim bitkisi kök örneklerinde azot konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının çim köklerinin azot içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan kök örnekleri üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.52.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi kök örneklerinin azot içeriğine etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dönemler ayrı ayrı incelendiğinde yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların çim kök örneklerinin azot içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.52. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde azot (%) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	1.02	0.77	0.82	1.41	0.92	1.09	
AÇ ₂	1.30	1.16	1.36	1.46	1.33	1.31	
AÇ ₄	1.19	1.30	1.70	1.61	1.44	1.45	
AÇ ₆	1.13	0.98	1.40	1.77	1.26	1.38	
AÇ ₈	1.44	1.59	1.13	1.39	1.28	1.49	
Anova Var.	0.420 ^{Ö.D.}		0.715 ^{Ö.D.}		1.25	Ort.	1.34
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	0.519 ^{Ö.D.}						
Dönem	1.976 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	0.584 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

4.5.6.2. Çim bitkisi kök örneklerinde fosfor konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının çim köklerinin fosfor içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan kök örnekleri üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim

kesiminden hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.53’de verilmiştir.

Çizelge 4.53.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının çim bitkisi köklerinin fosfor içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunurken, arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkisi % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme döneminin çim bitkisi köklerinin fosfor içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.53. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde fosfor (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönemler Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	66913d	68788d	84428b	93650ab	75670D	81219CD	
AÇ ₂	96823bcd	84540cd	100588ab	102765ab	98705BC	93653BCD	
AÇ ₄	113618abc	120258abc	103425ab	98618ab	108521AB	109438AB	
AÇ ₆	129913ab	127478ab	115155a	105958ab	122534A	116718AB	
AÇ ₈	99620bcd	145475a	115018a	101083ab	107319AB	123279A	
Anova Var.	4.380**		1.453 ^{Ö.D.}		102550	Ort.	104861
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	4.866***						
Dönem	0.490 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	2.351*						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; *, %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim kök örneklerinde tespit edilen en yüksek fosfor değeri AÇ₈KG+ konusunda 123279 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 75670 mg kg⁻¹ ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim köklerinin fosfor içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel olarak da yüksek önem düzeyinde bulunmuş ve konuların aldığı harf değerlerinde açıkça ifade edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim köklerinin fosfor içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin açık bir etkisi görülmemekle birlikte konular arasında tespit edilen en yüksek fosfor değerine kimyasal gübre uygulamaları ile beraber en yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan AÇ₈KG+ konusunda rastlanmaktadır. Ancak başta bahsedildiği gibi bu uygulama KGØ konularının en yüksek fosfor değerinden fazla olsa da istatistiksel olarak fark önemsiz bulunmuştur. Örnekleme döneminin çim köklerinin fosfor içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Akat vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada toprağa artan dozlarda arıtma çamuru uygulanarak gül bitkisi yetiştirilmiştir. Çalışma sonunda toprakta, bitki üst ve kök aksamında analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar arıtma çamuru uygulanan konuların tamamında bitki kök fosfor içeriğinin kontrole göre daha yüksek bulunduğunu rapor etmişlerdir. Orman ve Ok (2014)’ün yonca yetiştiriciliği için toprağa

arıtma çamuru uygulaması yaptıkları bir çalışmada; toprakta, bitki üst ve kök aksamında makro-mikro element konsantrasyonlarını belirleyerek uygulamaların etkisini tartışmışlardır. Çalışmada artan dozlarda arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak kök fosfor içeriğinin düzenli olarak arttığını, en düşük kök fosfor içeriğine kontrol uygulamasında rastlanırken en yüksek fosfor değerine en yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan 8 ton da⁻¹ uygulamasında rastlandığını bildirmişlerdir. Çalışmada elde edilen bulgular literatür ile uyum göstermektedir.

4.5.6.3. Çim bitkisi kök örneklerinde potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının çim köklerinin potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan kök örnekleri üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.54.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve örnekleme döneminin çim bitkisi köklerinin potasyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksyonun çim bitkisi köklerinin potasyum içeriği üzerine etkisi ise önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.54. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde potasyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	2335c	2526bc	2247b	2477ab	2291D	2502CD	
AÇ ₂	2404c	2922bc	2405ab	2462ab	2405D	2692BCD	
AÇ ₄	2647bc	3229ab	2366ab	2595ab	2506CD	2912ABC	
AÇ ₆	3156ab	3215ab	2678ab	2800a	2917ABC	3007AB	
AÇ ₈	2544bc	3712a	2467ab	2780a	2506CD	3246A	
Anova Var.	3.911**		1.508 ^{Ö.D.}		2525	Ort.	2872
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	5.167***						
Dönem	15.866***						
AÇXDön.	1.230 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim kök örneklerinde tespit edilen en yüksek potasyum değeri AÇ₈KG+ konusunda 3246 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 2291 mg kg⁻¹ ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa

uygulanan arıtma çamuru çim köklerinin potasyum içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel olarak da yüksek önem düzeyinde bulunmuş ve konuların aldığı harf değerlerinde açıkça ifade edilmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının da çim köklerinin potasyum içeriğini artırıcı etki yaptığı fark edilmiştir. Arıtma çamuru ile birlikte uygulanan kimyasal gübrelemenin çim köklerinin potasyum içeriğini aynı arıtma çamuru dozu uygulamalarında kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre arttırdığı görülmektedir. Tespit edilen en yüksek potasyum değerine kimyasal gübre uygulamaları ile beraber en yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan AÇ₈KG+ konusunda rastlanmıştır. Örnekleme döneminin çim köklerinin potasyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Birinci örnekleme döneminde tespit edilen potasyum değerlerinin ikinci örnekleme dönemine göre oldukça yüksek olduğu saptanmıştır. İkinci örnekleme dönemi için müstakil yapılan istatistik değerlendirme ve elde edilen veriler incelendiğinde, uygulamaların etkisinin birinci döneme göre azaldığı görülmektedir. Bu düşüş ikinci dönem konuları arasında tespit edilen potasyum değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli bulunmaması şeklinde ifade olmuştur.

Akat vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada toprağa artan dozlarda arıtma çamuru uygulanarak gül bitkisi yetiştirilmiştir. Çalışma sonunda toprakta, bitki üst ve kök aksamında analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar arıtma çamuru uygulanan konuların tamamında bitki kök potasyum içeriğinin kontrole göre daha yüksek bulunduğunu rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.55.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulaması, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulaması ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim bitkisi köklerinin kalsiyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dönemler ayrı ayrı incelendiğinde yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların ve örnekleme döneminin de kalsiyum içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.55. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde kalsiyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	3271a	4747a	4999ab	6835ab	4135A	5791A	
AÇ ₂	3603a	3251a	5880ab	7592a	4741A	5421A	
AÇ ₄	5027a	5108a	3115ab	4837ab	4071A	4972A	
AÇ ₆	5070a	4761a	4488ab	6174ab	4779A	5467A	
AÇ ₈	4077a	5766a	5659ab	2678b	4868A	4222A	
Anova Var.	0.788 ^{Ø.D.}		1.223 ^{Ø.D.}		4519	Ort.	5175
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	0.481 ^{Ø.D.}						
Dönem	1.982 ^{Ø.D.}						
ACXDön.	1.678 ^{Ø.D.}						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; Ø.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.56.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve örneklem döneminin çim köklerinin magnezyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Ancak arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki interaksiyonun etkisi istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Dönemler ayrı ayrı incelendiğinde yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların ve örneklem döneminin çim kök örneklerinin magnezyum içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.56. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde magnezyum (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	638a	738a	581ab	802a	610A	770A	
AÇ ₂	648a	601a	663ab	820a	655A	711A	
AÇ ₄	703a	701a	602ab	651ab	652A	676A	
AÇ ₆	828a	775a	738a	744a	783A	759A	
AÇ ₈	722a	910a	817a	459b	769A	684A	
Anova Var.	0.997 ^{O.D.}		2.234 ^{O.D.}		694	Ort.	720
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	0.986 ^{O.D.}						
Dönem	1.010 ^{O.D.}						
AÇXDön.	2.051*						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.57.'de görüldüğü üzere örneklem döneminin çim köklerinin sodyum içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarının ve arıtma çamuru uygulamaları ile örneklem dönemi arasındaki interaksiyonun çim köklerinin sodyum içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Dönemler ortalaması incelendiğinde yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların çim köklerinin sodyum içeriği üzerine olan etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir. Örneklem döneminin çim köklerinin sodyum içeriği üzerine olan etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Birinci örneklem dönemi için müstakil yapılan istatistiksel değerlendirme ve elde edilen veriler incelendiğinde, uygulamaların köklerin sodyum içeriğinde hatırı sayılır bir değişikliğe neden olmadığı ve bu etkinin istatistiksel olarak da önemsiz olduğu görülmüştür. Ancak birinci dönem yapılan örneklemede konularda tespit edilen tüm kök sodyum içerikleri ikinci dönemde elde edilen aynı uygulama dozlarındaki sodyum değerleri ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir. İkinci dönemde kök sodyum değerlerinde tüm konular için genel bir düşme gözlenmiştir. İkinci dönem kendi içinde değerlendirildiğinde KGØ konularında AÇ₄ dozuna kadar uygulamalar ile uyumlu bir artış göze çarpmaktadır. Ancak bu dozdan sonra kök sodyum değerleri bir miktar daha yükselse de değişim önemsiz olmuştur. KG+ konularında ise en yüksek kök sodyum değerine AÇ₀ dozunda rastlanırken bu değer AÇ₄ dozuna kadar düşüş trendine girmiş daha sonra tekrar artma eğilimi sergilemiştir.

Çizelge 4.57. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde sodyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	316a	386a	170cd	351a	243B	369A	
AÇ ₂	301a	373a	224bc	301ab	262AB	337AB	
AÇ ₄	336a	458a	241abc	107d	288AB	282AB	
AÇ ₆	497a	381a	258abc	233abc	377A	307AB	
AÇ ₈	486a	353a	256abc	299ab	371A	326AB	
Anova Var.	1.091 ^{Ø.D.}		3.578**		308	Ort.	324
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	1.569 ^{Ø.D.}						
Dönem	36.497***						
AÇXDön.	1.768 ^{Ø.D.}						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; 0.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

4.5.7. Çim bitkisi kök örneklerinde mikro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

4.5.7.1. Çim bitkisi kök örneklerinde demir, çinko, mangan, bakır konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının çim köklerinin demir, çinko, mangan ve bakır içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan kök örnekleri üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örnekleme sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.58, 4.59, 4.60 ve 4.61’de verilmiştir.

Çizelge 4.58.’de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkileşimin çim köklerinin demir içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dönemler ayrı ayrı incelendiğinde yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların ve örnekleme döneminin çim kök örneklerinin demir içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Akat vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada toprağa artan dozlarda arıtma çamuru uygulanarak gül bitkisi yetiştirilmiştir. Çalışma sonunda toprakta, bitki üst ve kök aksamında analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar arıtma çamuru uygulamalarının bitki köklerinin demir içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğunu rapor etmişlerdir. Çakır ve Çimrin (2018)’in yaptıkları çalışmada kentsel arıtma çamuru uygulanmış toprakta mısır bitkisi yetiştirmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları analizler sonucunda bitki köklerinin demir içeriği üzerine, uygulamaların

etkisini istatistiksel olarak önemsiz bulmuşlardır. Araştırma sonuçları literatür ile uyum göstermektedir.

Çizelge 4.58. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde demir (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	2851	3438	2457	3090	2654	3264	
AÇ ₂	2369	2695	2432	3679	2400	3187	
AÇ ₄	2783	2832	1840	2172	2311	2502	
AÇ ₆	3182	2898	2631	2919	2907	2909	
AÇ ₈	2472	3206	3141	1852	2806	2529	
Anova Var.	0.549 ^{O.D.}		1.169 ^{O.D.}		2616	Ort.	2878
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	0.838 ^{O.D.}						
Dönem	1.265 ^{O.D.}						
AÇXDön.	1.007 ^{O.D.}						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; Ø.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.59.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının çim köklerinin çinko içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme döneminin ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki etkileşimin çim köklerinin çinko içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.59. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde çinko (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	16.40e	22.80de	37.40cd	34.00d	26.92E	28.42E	
AÇ ₂	41.00cde	37.60cde	55.60bcd	55.30bcd	48.28CDE	46.42DE	
AÇ ₄	67.40bcd	74.20abc	55.70bcd	73.80ab	61.55BCD	73.98ABC	
AÇ ₆	91.40ab	92.80ab	73.70ab	77.70ab	82.58AB	85.24AB	
AÇ ₈	78.60a	120.00abc	87.40a	65.20abc	83.00AB	92.59A	
Anova Var.	4.792 ^{Ö.D.}		3.857**		60.47	Ort.	65.33
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	7.436***						
Dönem	0.637 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	1.690 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; Ø.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim köklerinde tespit edilen en yüksek çinko değeri AÇ₈KG+ konusunda 92.59 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 26.92 mg kg⁻¹ ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde toprağa uygulanan arıtma çamuru çim köklerinin çinko içeriğini uygulama dozları ile uyumlu ve düzenli şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu etki istatistiksel olarak da yüksek önem düzeyinde tespit edilmiş ve konuların aldığı harf değerlerinde açıkça ifade edilmiştir. KGØ ve KG+ konularının her ikisinde de en düşük değere AÇ₀ uygulamasında rastlanırken en yüksek değere de AÇ₈ konusunda rastlamaktayız. Kimyasal gübre uygulamalarının çim köklerinin çinko içeriğini arttırıcı yönde etki ettiği görülmüştür. Arıtma çamuru ile birlikte yapılan kimyasal gübrelemenin, çim köklerinin çinko içeriğini aynı arıtma çamuru dozu uygulamalarında kimyasal gübre uygulanmayan konulara göre arttırdığı görülmektedir. Tespit edilen en yüksek çinko değerine kimyasal gübre uygulamaları ile beraber en yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan AÇ₈KG+ konusunda rastlanmıştır. Örnekleme döneminin çim köklerinin çinko içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çakır ve Çimrin (2018)'in yaptıkları çalışmada kentsel arıtma çamuru uygulanmış toprakta mısır bitkisi yetiştirmişlerdir. Araştırmacılar artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması ile mısır bitkisi kök çinko içeriğinin düzenli olarak arttığını tespit etmişlerdir. 22.94 mg kg⁻¹ ile kontrol uygulamasında (AÇ₀) en düşük kök çinko değeri ve en yüksek arıtma çamuru uygulaması olan (AÇ₁₀) konusunda da 80.30 mg kg⁻¹ ile en yüksek değer tespit edilmiştir. Diğer konularda tespit edilen kök çinko değerleri sırasıyla (AÇ_{2.5}) 37.92 mg kg⁻¹, (AÇ₅) 45.81 mg kg⁻¹, (AÇ_{7.5}) 51.82 mg kg⁻¹ olarak bildirilmiştir. Orman ve Ok (2014)'ün yonca yetiştiriciliği için toprağa arıtma çamuru uygulaması yaptıkları bir çalışmada; toprakta, bitki üst ve kök aksamında makro-mikro element konsantrasyonlarını belirleyerek uygulamaların etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmada artan dozlarda arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak kök çinko içeriğinin düzenli olarak arttığını, en düşük kök çinko içeriğine 22.9 mg kg⁻¹ ile kontrol uygulamasında rastlanırken en yüksek çinko değerine 62.3 mg kg⁻¹ ile en yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan 8 ton da⁻¹ uygulamasında rastlandığını bildirmişlerdir. Arıtma çamuru ve kimyasal gübre uygulamalarının bitkide çinko içeriğini arttırdığını bildiren çalışmalar yaygındır (Çimrin vd. 2000; Demir ve Çimrin 2011). Çalışmada elde edilen bulgular literatür ile uyum göstermektedir.

Çizelge 4.60.'da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim köklerinin mangan içeriğine etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dönemler ayrı ayrı incelendiğinde yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların çim kök örneklerinin mangan içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Çimrin vd. (2000)'in toprağa arıtma çamuru ve kimyasal gübre uyguladıkları bir çalışmada uygulamaların mısır bitkisinin mangan içeriği üzerine önemli ölçüde bir etki yapmadığını bildirmişlerdir. Demir ve Çimrin (2011)'in toprağa arıtma çamuru ve humik asit uygulayarak mısır bitkisi yetiştirdikleri bir çalışmada artan dozlarda uygulanan arıtma çamuruyla mısır bitkisinin kök mangan içeriğinin önemli ölçüde azaldığını bildirmiştir

Çizelge 4.60. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde mangan (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	77.00	89.70	72.65abc	92.45ab	74.83AB	91.08A	
AÇ ₂	59.90	66.00	69.48abc	95.18a	64.69B	80.59AB	
AÇ ₄	74.50	72.80	55.32bc	59.23abc	64.92B	66.03AB	
AÇ ₆	80.00	77.20	65.97abc	70.41abc	73.00AB	73.78AB	
AÇ ₈	69.60	86.50	77.72abc	46.06c	73.69AB	66.27AB	
Anova Var.	0.774 ^{Ö.D.}		1.684 ^{Ö.D.}		70.23	Ort.	75.55
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	1.124 ^{Ö.D.}						
Dönem	0.976 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	1.470 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.61.'de görüldüğü üzere örnekleme döneminin ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksyonun çim köklerinin bakır içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarının çim köklerinin bakır içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.61. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde bakır (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	8.70bcde	0.10e	18.42bc	28.93abc	13.55D	14.52CD	
AÇ ₂	18.40b	5.30cde	39.61a	44.24a	29.03A	24.77ABC	
AÇ ₄	14.60bc	D.L.e	36.13ab	32.08ab	25.35AB	16.04BCD	
AÇ ₆	11.30bcd	9.20bcde	42.24a	29.56abc	26.78A	19.40ABCD	
AÇ ₈	3.40de	30.70a	28.03abc	11.77c	15.69BCD	21.23ABCD	
Anova Var.	8.659***		3.149**		22.08	Ort.	19.19
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	2.888**						
Dönem	100.643***						
AÇXDön.	5.974***						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim köklerinde tespit edilen en yüksek bakır değeri AÇ₂KGØ konusunda 29.03 mg kg^{-1} iken en düşük değer 13.55 mg kg^{-1} ile AÇ₀KGØ konusunda rastlanmıştır. Uygulamaların çim köklerinin bakır içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli tespit edilmiştir. Dönemler ortalaması incelendiğinde KGØ ve KG+ konularında tespit edilen en düşük değerlerin arıtma çamuru

uygulamalarının yapılmadığı AÇ₀ konularında olduğu görülmektedir. Arıtma çamuru uygulamaları kök bakır içeriklerini genel olarak arttırmıştır. Ancak bu artış ile artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru arasında uyumlu bir trende rastlanamamıştır. Her bir örnekleme döneminde elde edilen değerler incelendiğinde benzer durum görülmektedir. Kimyasal gübre uygulamalarının çim köklerinin bakır içeriği üzerine anlamlı bir etkisi tespit edilmemiştir. Ancak hiç arıtma çamuru uygulaması yapılmayan AÇ₀ konularını birbirleriyle kıyasladığımızda kimyasal gübre uygulanan konuda uygulanmayana göre daha yüksek bakır değerini tespit ettiğimizi söyleyebiliriz. Örnekleme döneminin çim köklerinin bakır içeriği üzerine olan etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. İkinci dönem yapılan örneklemede tespit edilen kök bakır içerikleri AÇ₈KG+ konusu istisna olmak üzere birinci dönemde elde edilen aynı uygulama dozlarındaki bakır değerleri ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çakır ve Çimrin (2018)'in bildirdiğine göre kentsel arıtma çamuru uygulanmış toprakta yetiştirilen mısır bitkisi kök örneklerinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması ile kök Cu içeriğinin düzenli şekilde azaldığını bildirmişlerdir. Bozkurt vd. (2000) tarafından kireçli bir toprağa artan dozlarda arıtma çamuru ve tek doz hüyük asit uygulaması yapılarak yetiştirilen mısır bitkisinde uygulamaların etkisi ile bitki örneklerinde ekstrakte edilebilir bakır içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir.

4.5.8. Çim bitkisi kök örneklerinde ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

4.5.8.1. Çim bitkisi kök örneklerinde kurşun, kadmiyum, krom ve nikel konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının ve örnekleme zamanının çim köklerinin kurşun, kadmiyum, krom ve nikel içeriğine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı dönemde alınan kök örnekleri üzerinde çalışılmıştır. 1. dönem verileri 15.04.2018 tarihinde ilk rulo çim kesiminde hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. 2. Dönem verileri 15.09.2018 tarihinde ikinci rulo çim kesiminden hemen önce yapılan bitki örneklemesinin sonuçlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar çizelge 4.62, 4.63, 4.64 ve 4.65'de verilmiştir.

Çizelge 4.62.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksyonun çim köklerinin kurşun içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Örnekleme döneminin çim köklerinin kurşun içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde kurşun konsantrasyonlarına etkisini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde 1. ve 2. döneme ait bazı örneklerde kurşun konsantrasyonu cihazın kurşun elementi için ölçüm limiti olan 0.03 mg kg⁻¹'dan daha düşük olduğu için belirlenememiştir. Yapılan istatistiksel analizde bu örneklerin kurşun konsantrasyonları sıfır olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.62. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde kurşun (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	0.72ab	D.L.b	D.L.c	D.L.c	0.36BC	D.L.C	
AÇ ₂	1.54a	D.L.b	D.L.c	D.L.c	0.77B	D.L.C	
AÇ ₄	1.26ab	0.32ab	D.L.c	0.04c	0.63BC	0.18BC	
AÇ ₆	D.L.b	0.44ab	D.L.c	2.65b	D.L.C	1.55A	
AÇ ₈	D.L.b	0.53ab	D.L.c	3.75a	D.L.C	2.14A	
Anova Var.	1.608 ^{Ö.D.}		73.479***		0.35	Ort.	0.77
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	10.252***						
Dönem	1.235 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	10.113***						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. Pb için D.L.< 0.03 mg kg^{-1} .

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim köklerinde tespit edilen en yüksek kurşun değeri AÇ₈KG+ konusunda 2.14 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Ayrıca birçok konuda kök örneklerinin kurşun içerikleri cihazın dedeksiyon limitinin altında kaldığı görülmüştür. Veriler değerlendirildiğinde her ne kadar istatistiksel olarak önemli tespit edilen uygulamalar olsa da bir genelleme yapmak mümkün olmamıştır. KGØ konularında artan arıtma çamuru dozları ile kontrole göre, AÇ₄ konusu da dahil olmak üzere bir miktar artış sağlanmıştır. Ancak AÇ₆ ve AÇ₈'de değerlerin cihazın dedeksiyon limitlerinin bile altında kaldığı görülmüştür. KG+ konularında ise AÇ₀ ve AÇ₂ konularında kök örneklerinin kurşun içeriği cihazın dedeksiyon limitlerinin altında kalırken AÇ₄ uygulamasından itibaren artan arıtma çamuru dozları ile kurşun içeriklerinde düzenli artış gözlenmiş ve deneme konuları içinde tespit edilen en yüksek kurşun değerine AÇ₈ konusunda ulaşılmıştır. Kimyasal gübre uygulamalarının çim köklerinin kurşun içeriği üzerine anlamlı bir etkisi tespit edilememiştir. Örnekleme döneminin etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çakır ve Çimrin (2018)'in bildirdiğine göre kentsel arıtma çamuru uygulanmış toprakta yetiştirilen mısır bitkisi kök örneklerinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması köklerin kurşun içeriği üzerine istatistiksel olarak önemsiz etki yapmakla birlikte küçük bir düşüşe sebep olmuştur. Orman ve Ok (2014)'ün yonca yetiştiriciliği için toprağa arıtma çamuru uygulaması yaptıkları bir çalışmada; toprakta, bitki üst ve kök aksamında makro-mikro element konsantrasyonlarını belirleyerek uygulamaların etkisini araştırmışlardır. Çalışmada artan dozlarda arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak kök kurşun içeriğinin düzenli olarak arttığı tespit edilmiştir. En düşük kök kurşun içeriğine 0.17 mg kg^{-1} ile kontrol uygulamasında rastlanırken en yüksek kurşun değerine 0.51 mg kg^{-1} ile en yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan 8 ton da^{-1} uygulamasında rastlandığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.63.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim köklerinin kadmiyum içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.63. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde kadmiyum (mg kg^{-1}) konsantrasyonları üzerine etkisi

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	0.09c	0.57b	D.L.	D.L.	0.05C	0.29B	
AÇ ₂	D.L.c	1,29a	D.L.	D.L.	D.L.C	0.65A	
AÇ ₄	D.L.c	D.L.c	D.L.	D.L.	D.L.C	D.L.C	
AÇ ₆	D.L.c	D.L.c	D.L.	D.L.	D.L.C	D.L.C	
AÇ ₈	D.L.c	D.L.c	D.L.	D.L.	D.L.C	D.L.C	
Anova Var.	14.517***		Ö.D.		0.01	Ort.	0.19
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	14.517***						
Dönem	30.851***						
AÇXDön.	14.517***						

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. Cd için $\text{D.L.} < 0.05 \text{ mg kg}^{-1}$.

Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde kadmiyum konsantrasyonlarına etkisini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde 1. ve 2. döneme ait bazı örneklerde kadmiyum konsantrasyonları cihazın kadmiyum elementi için ölçüm limiti olan 0.05 mg kg^{-1} 'dan daha düşük olduğu için belirlenememiştir. Yapılan istatistiksel analizde bu örneklerin kurşun konsantrasyonları sıfır olarak kabul edilmiştir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim köklerinde sadece AÇ₀KGØ, AÇ₀KG+ ve AÇ₂KG+ konularında kadmiyum tespit edilebilmiştir. Diğer konulardaki kadmiyum içerikleri cihazın tespit sınırlarının altında kaldığı görülmüştür. Uygulamaların genel olarak kontrole göre köklerin kadmiyum değerini düşürdüğü en azından artırıcı bir etkiye sebep olmadığını söylemek mümkündür. Örnekleme dönemleri ayrı ayrı incelendiğinde ikinci dönemde konuların tamamında kadmiyum değerlerinin cihazın tespit limitlerinin altında kaldığı görülmektedir.

Çakır ve Çimrin (2018)' bildirdiğine göre kentsel arıtma çamuru uygulanmış toprakta yetiştirilen mısır bitkisi kök örneklerinde kadmiyum tespit edilememiştir. Küçükhemek vd. (2008)'in yaptıkları çalışmada toprağa arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulayarak çim bitkisi yetiştirmişlerdir. Çalışma sonunda bitki element kompozisyonu ve veriminin değerlendirilmesi amacıyla yapılan analizlerde çim bitki örneklerinin kadmiyum içeriğinin cihaz dedeksiyon limitlerinin altında kaldığını bildirmişlerdir. Çalışma sonuçları literatür ile uyum göstermektedir.

Çizelge 4.64.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamaları, örnekleme dönemi ve arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim köklerinin krom içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Dönemler ayrı ayrı incelendiğinde yetiştirme ortamlarına yapılan uygulamaların çim kök örneklerinin krom içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.64. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde krom (mg kg⁻¹) üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	8.42	9.03	14.97	8.70	10.69	8.86	
AÇ ₂	6.61	6.54	9.90	9.89	8.25	8.21	
AÇ ₄	7.74	8.97	8.40	6.95	8.07	7.96	
AÇ ₆	8.96	8.76	7.43	8.58	8.20	8.67	
AÇ ₈	6.59	10.52	8.05	5.66	7.32	8.09	
Anova Var.	0.968 ^{Ö.D.}		1.414 ^{Ö.D.}		8.51	Ort.	8.36
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	0.698 ^{Ö.D.}						
Dönem	0.423 ^{Ö.D.}						
AÇXDön.	1.781 ^{Ö.D.}						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.65.'de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulamalarının ve örnekleme döneminin çim köklerinin nikel içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile örnekleme dönemi arasındaki interaksiyonun çim köklerinin nikel içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.65. Uygulamaların çim bitkisinin kök örneklerinde nikel (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönemler				Dönem Ortalaması		
	1. Dönem		2. Dönem				
	Kimyasal Gübre						
	KGØ	KG+	KGØ	KG+	KGØ	KG+	
AÇ ₀	9.00e	20.57a	6.51	9.14	7.75D	14.85A	
AÇ ₂	7.21e	17.34ab	7.57	10.79	7.39D	14.06AB	
AÇ ₄	10.30de	11.20cde	5.55	6.36	7.92D	8.78CD	
AÇ ₆	15.13bcd	9.37e	7.19	9.15	11.16BCD	9.26CD	
AÇ ₈	15.87abc	10.95cde	8.62	5.80	12.24ABC	8.37D	
Anova Var.	7.390***		0.935 ^{Ö.D.}		9.29	Ort.	11.06
rANOVA (Tekrarlı Ölçüm; Duncan %5)							
AÇ	5.302***						
Dönem	45.001***						
ACXDön.	2.286*						

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır. 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir. 3. *** % 0.1 düzeyinde önemli; **, %1 düzeyinde önemlidir; * %5 düzeyinde önemli; ö.d. : önemli değil. 4. Aynı dönemde küçük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir. 5. Dönem ortalamalarında büyük harfle gösterilen değerler uygulamalar arasındaki farkı göstermektedir.

Dönemler ortalaması incelendiğinde çim köklerinde tespit edilen en yüksek nikel değeri AÇ₀KG+ konusunda 14.85 mg kg⁻¹ iken en düşük değer 7.39 mg kg⁻¹ ile AÇ₂KGØ konusunda rastlanmıştır. Uygulamaların çim kök örneklerinin nikel içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli tespit edilmiştir. Ancak elde edilen sonuçları genelleme yaparak özetlemek mümkün olmamıştır. KGØ konularında artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile uyumlu olarak AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında kök nikel içeriklerinde bir miktar artış gözlenmiştir. Konuların aldığı harf değerlerinden bu artışın anlamlı olduğu görülmektedir. KG+ konularında ise en yüksek kök nikel içeriği AÇ₀ uygulamasında rastlanırken artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının kök nikel içeriğini azalttığı görülmüştür. En düşük değere de en yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan AÇ₈ uygulamasında rastlanmıştır. Kimyasal gübre uygulamalarının etkisi değerlendirildiğinde düşük arıtma çamuru dozlarında kimyasal gübre uygulaması kök nikel içeriğini uygulanmayan konulara göre arttırdığı tespit edilirken AÇ₆ ve AÇ₈ gibi daha yüksek dozlarda bu etkinin nikel içeriğini düşürücü yönde etki ettiği görülmüştür. Örneklem döneminin çim köklerinin nikel içeriği üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Birinci örneklem döneminde tespit edilen kök nikel içerikleri ikinci döneme göre hatırı sayılır şekilde yüksektir. İkinci örneklem döneminde genel bir düşme gözlemlenmekle beraber bu dönem için uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Orman ve Ok (2014)'ün yonca yetiştiriciliği için toprağa arıtma çamuru uygulaması yaptıkları bir çalışmada; toprağa artan dozlarda arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak kök nikel içeriğinde artış gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar en düşük kök nikel değerine 6.57 mg kg⁻¹ ile kontrol uygulamasında rastlarken en yüksek nikel değerine 9.72 mg kg⁻¹ ile en yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan 8 ton da⁻¹ uygulamasında rastlandığını bildirmişlerdir.

Arıtma çamuru ve kimyasal gübre uygulamalarının bitkide nikel içeriğini arttırdığını bildiren çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür (Çimrin vd. 2000; Küçükhemek vd. 2006; Küçükhemek vd. 2008; Demir ve Çimrin 2011; Ok 2012). Ancak söz konusu artışlar genel olarak sınırlı kalmakta ve bitkide stres ya da toksisite yaratmamaktadır. Çalışmada elde edilen bulgular literatür ile uyum göstermektedir.

4.5.9. Çalışma kapsamında hesaplanan mikro element ve ağır metal biyoakümülyasyon faktörleri

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının mikro element ve ağır metal biyoakümülyasyonuna etkilerini belirlemek amacıyla ilgili veriler kullanılarak her bir element ve dönem için biyoakümülyasyon faktörü (BAF) çim üst aksamı ve kökü için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu kapsamda elde edilen katsayı değerleri çizelge 4.66 ve 4.67'de verilmiştir.

Çizelge 4.66. Çim üst aksamı için hesaplanan mikro element ve ağır metal biyoakümülyasyon değeri

Uygulamalar	Fe		Zn		Mn		Cu	
	Dönemler		Dönemler		Dönemler		Dönemler	
	1.D	2.D	1.D	2.D	1.D	2.D	1.D	2.D
Aç0K0	0.028	0.013	0.903	1.082	0.314	0.188	0.057	0.045
Aç2K0	0.012	0.010	0.848	0.801	0.215	0.143	0.096	0.059
Aç4K0	0.015	0.011	0.835	0.705	0.245	0.169	0.278	0.080
Aç6K0	0.013	0.006	0.700	0.555	0.202	0.109	0.284	0.070
Aç8K0	0.012	0.006	0.619	0.606	0.259	0.103	0.292	0.061
Aç0K+	0.008	0.008	0.852	1.000	0.224	0.183	0.309	0.088
Aç2K+	0.009	0.004	0.565	0.916	0.216	0.159	0.243	0.070
Aç4K+	0.012	0.006	0.971	0.692	0.272	0.223	0.261	0.079
Aç6K+	0.011	0.006	0.916	0.823	0.202	0.257	0.149	0.075
Aç8K+	0.006	0.005	0.927	0.695	0.137	0.250	0.178	0.070

BAF ağır metallerin bitkide birikimini, toprak-bitki ilişkisi içinde değeriendirebilmek için kullanılır. İncelenen elementin bitki dokusundaki konsantrasyonunun topraktaki toplam konsantrasyonuna bölünmesi yolu ile bulunur (Liu vd. 2008). Bitkilerdeki metal akümülyasyon kapasitesini belirlemede önemli bir parametredir (Zayed vd. 1998; Wu vd. 2010). Hesaplanan BAF değeri > 10 ise bitki hiperakümülyatör, > 1 ise akümülyatör ve < 1 ise de ekskluder bitki olarak değeriendirilir (Baker 1981; Ma vd. 2001). Ekskluder bitkinin temel özelliği yüksek toksik metal konsantrasyonlarına maruz bırakılsa bile söz konusu elementin bitkiye alınımını engelleyebilme ya da sınırlayabilme yeteneğinde olmasıdır (Prasad 2008). BAF değeriinin > 1 olduğu bitkilerin fitoremediasyon ve fitoekstraksiyon için kullanım potansiyelleri yüksektir. Bu değeri < 1 ise ağır metalleri düşük oranda aldıkları için besin döngüsünde daha az riskle tüketilme imkânları olabilir (Rangnekar vd. 2013). Ekskluder olarak da sınıflandırılan bu tip bitkiler muhtemelen köklerinde gelişen bir tolerans mekanizması aracılığıyla ağır metallerin köklerden bitki toprak üst kısmına geçişine engel olurlar (Ernst vd. 1992).

Çizelge 4.66'nın devamı

Uygulamalar	Ni		Cr		Cd	
	Dönemler		Dönemler		Dönemler	
	1.D	2.D	1.D	2.D	1.D	2.D
Aç0K0	0.330	0	0.475	0.289	4.901	2.367
Aç2K0	0.160	0.203	0.333	0.211	0	0.704
Aç4K0	0.538	0.111	0.175	0.227	4.655	0.901
Aç6K0	0.642	0.101	0.055	0.151	2.055	0.642
Aç8K0	0.635	0	0.189	0.169	0.435	1.465
Aç0K+	0.404	0.013	0.244	0.281	1.295	1.579
Aç2K+	0.701	0	0.224	0.224	1.828	2.095
Aç4K+	0.741	0	0.200	0.221	7.824	1.221
Aç6K+	0.650	0.009	0.117	0.225	1.071	0.316
Aç8K+	0.247	0.023	0.089	0.198	0.425	0.149

1. Değerler 4 tekrerr ortalamasıdır. 2. Katsayı değeriinden >1 olanlar koyu olarak gösterilmiştir.

Biyoakümülyasyon faktörünün hesaplaması, matematiksel olarak mümkün olan elementler için çim üst aksam BAF değerleri Çizelge 4.66’da verilmiştir. Demir, mangan, bakır, nikel ve krom elementlerinin tamamında hesaplanan BAF değerleri tüm konularda 1’den küçüktür. Sadece çinko ve kadmiyum elementlerinde bazı konuların 1’den büyük katsayıya sahip olduğu görülmektedir. Çinko elementinde ikinci örnekleme döneminde en düşük arıtma çamuru dozu olan AÇ₀KØ ve AÇ₀K+ konuları dışında 1’den büyük BAF değerine rastlanmamıştır. Örnekleme dönemi ile BAF değeri arasında net bir ilişki görülmemekle beraber arıtma çamuru uygulamalarının rulo çimde çinko birikimine neden olmadığı açıktır. Hatta uygulamaların çinko BAF değerini bir miktar düşürdüğünü söylemek de mümkün olabilir. Ayrıca çinko BAF değerlerinin genelde 1’e yakın olması rulo çimi meydana getiren çim çeşitlerinden en az birinin çinko için akümülatör sınırında olduğunu düşündürmüştür. BAF değeri 1’den büyük olan diğer elementte kadmiyumdur. Arıtma çamuru uygulamaları ile kadmiyum için hesaplanan BAF değerinde bir miktar düşüş gözlenirse de özellikle arıtma çamuru uygulaması yapılmayan AÇ₀KØ ve AÇ₀K+ konularında BAF değeri 1’den büyük bulunmuştur. Bu durum rulo çimi meydana getiren çim çeşitlerinden en az birinin kadmiyum için akümülatör bitki olabileceğini düşündürmüştür. Çim üst aksamı için hesaplanan BAF değerlerinde özellikle AÇ₀ konularında 1’den büyük katsayıya rastlanması bu konularda çok az miktarda gelişen biyokütle neticesinde bu element içeriklerinin bitkide konsantre kaldığını, artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile uyumlu şekilde artan biyokütle sonucu diğer konularda elementin seyreterek 1’den küçük değerler aldığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.67. Çim kök aksamı için hesaplanan mikro element ve ağır metal biyoakümülyasyon değerleri

Uygulamalar	Fe		Zn		Mn		Cu	
	Dönemler		Dönemler		Dönemler		Dönemler	
	1.D	2.D	1.D	2.D	1.D	2.D	1.D	2.D
Aç ₀ KØ	0.052	0.047	0.351	0.979	0.180	0.157	0.088	0.205
Aç ₂ KØ	0.039	0.040	0.578	0.873	0.131	0.166	0.168	0.376
Aç ₄ KØ	0.065	0.034	0.713	0.858	0.191	0.151	0.201	0.367
Aç ₆ KØ	0.061	0.045	0.705	0.644	0.173	0.142	0.126	0.396
Aç ₈ KØ	0.046	0.052	0.572	0.640	0.153	0.192	0.036	0.246
Aç ₀ K+	0.062	0.059	0.392	0.902	0.211	0.222	0.001	0.356
Aç ₂ K+	0.044	0.060	0.455	0.897	0.150	0.248	0.049	0.405
Aç ₄ K+	0.067	0.039	1.020	0.892	0.210	0.242	0	0.295
Aç ₆ K+	0.056	0.050	0.941	0.937	0.171	0.342	0.091	0.260
Aç ₈ K+	0.060	0.031	1.568	0.473	0.205	0.270	0.312	0.100

Biyoakümülyasyon faktörünün hesaplaması matematiksel olarak mümkün olan elementler için çim köklerinin Çizelge 4.67’de BAF değerleri verilmiştir. Demir, mangan, bakır, nikel, krom ve kadmiyum elementlerinin tamamında hesaplanan BAF değerleri tüm konularda 1’den küçüktür. Sadece çinko elementinde iki konuda 1’den büyük katsayı hesaplanmıştır. Çinko elementinde birinci örnekleme döneminde AÇ₄K+ ve AÇ₈K+ konusunda BAF değeri 1’den büyük bulunurken ikinci örnekleme döneminde tüm konular 1’den küçük tespit edilmiştir. Diğer yandan 1’den küçük değerlerin de diğer elementler için hesaplanan BAF değerlerine nazaran daha büyük olduğu görülmektedir. Uygulamalar ve örnekleme dönemi ile BAF değerleri arasında net bir ilişki görülmemekle beraber arıtma çamuru uygulamalarının rulo çim köklerinde

çinko birikimine neden olmadığı düşünülmektedir. Araştırmada kullanılan toprak ve arıtma çamurunun ağır metal içeriklerinin sınır değerlerin altında olması uygulamalardan kaynaklı ağır metallerin bitkiye taşınımının gerçekleşmemesinde önemli rol oynadığı düşünülmektedir. BAF değeri kökte <1 çıkması metallerin kökte fazla birikmediğini dolayısı ile bitki üst aksamına taşınımının sınırlı kaldığını düşündürmektedir.

Çizelge 4.67'nin devamı

Uygulamalar	Ni		Cr		Cd	
	Dönemler		Dönemler		Dönemler	
	1.D	2.D	1.D	2.D	1.D	2.D
Aç0K0	0.198	0.135	0.301	0.377	0.080	0
Aç2K0	0.166	0.161	0.293	0.294	0	0
Aç4K0	0.216	0.134	0.374	0.276	0	0
Aç6K0	0.262	0.139	0.221	0.204	0	0
Aç8K0	0.294	0.182	0.213	0.260	0	0
Aç0K+	0.380	0.183	0.241	0.277	0.540	0
Aç2K+	0.410	0.214	0.227	0.344	0.194	0
Aç4K+	0.254	0.142	0.271	0.229	0	0
Aç6K+	0.182	0.209	0.228	0.288	0	0
Aç8K+	0.248	0.125	0.337	0.172	0	0

1. Değerler 4 tekrerr ortalamasıdır. 2. Katsayı değerlerinden >1 olanlar koyu olarak gösterilmiştir.

Ok (2012) tarafından arıtma çamurunun, kireçli topraklarda yetiştirilen çimde kullanım imkanlarının araştırıldığı çalışmada alınan toprak ve bitki örneklerinde BAF değerleri hesaplanmıştır. Bermuda ve lolium çimlerinden alınan toprak üstü örneklerin tamamında BAF değerleri Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Cr ve Cd için 1'den küçük tespit edildiği bildirilmiştir.

4.5.10. Çalışma kapsamında hesaplanan mikro element ve ağır metal translokasyon faktörleri

Rulo çim yetiştiriciliğinde artan dozlarda arıtma çamuru, tek başına ve kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte deneme parsellerine uygulanmıştır. Uygulama konularının, mikro element ve ağır metallerin bitki dokularında yer değiştirmesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla ilgili veriler kullanılarak her bir element ve dönem için translokasyon faktörleri (TF) ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu kapsamda elde edilen katsayı değerleri çizelge 4.68'de verilmiştir.

Bitkilerin ağır metal toleransına karşı üç temel tipinin olduğu düşünülmektedir. Bunlar kısaca biriktirme, kaçınma ve belirteç (indikatör) olarak özetlenebilir (Baker 1981). Biriktirme ve kaçınma bitkilerin ağır metal stresine karşı geliştirdikleri iki temel stratejidir (VogelMiküs vd. 2005). Bitkilerin ağır metal tolerans stratejisine bakıp hangi grupta olduğunu anlamak için bünyelerine yaptıkları ağır metal birikimini tespit etmek gerekir. Bu amaçla translokasyon faktörü olarak adlandırılan bir katsayı hesaplanır. Translokasyon faktörü bitkilerin toprak üstü aksam ve köklerindeki birikimler hakkında bilgi veren bir formüldür. TF gövdedeki ağır metal konsantrasyonunun kökteki ağır metal konsantrasyonuna oranıyla bulunur. Eğer $TF > 1$ ise bitki metali kökten gövdeye iletmıştır (Baker ve Brooks 1989). Eğer $TF < 1$ ise bitki metali kökünde biriktirmektedir (Singh ve Agrawal 2007).

Çizelge 4.68. Mikro element ve ağır metal translokasyon faktörleri

Uygulamalar	Fe		Zn		Mn		Ni		Cr	
	Dönemler		Dönemler		Dönemler		Dönemler		Dönemler	
	1.D	2.D	1.D	2.D	1.D	2.D	1.D	2.D	1.D	2.D
Aç ₀ K ₀	0.573	0.280	2.866	2.616	1.921	1.209	1.599	0	1.539	1.284
Aç ₂ K ₀	0.394	0.312	1.615	1.294	1.834	1.188	1.356	1.610	1.113	1.589
Aç ₄ K ₀	0.242	0.215	1.496	0.936	1.394	0.906	2.528	0.459	0.406	0.913
Aç ₆ K ₀	0.237	0.140	1.373	1.022	1.486	0.754	2.620	0.472	0.251	0.907
Aç ₈ K ₀	0.291	0.165	1.722	1.930	1.849	0.674	2.404	0	0.298	0.937
Aç ₀ K ₊	0.133	0.123	2.199	1.935	1.087	0.850	1.077	0.028	1.082	1.033
Aç ₂ K ₊	0.249	0.104	1.882	1.795	1.523	1.025	1.723	0	1.048	1.064
Aç ₄ K ₊	0.219	0.122	1.041	0.753	1.505	0.751	3.410	0	0.786	0.702
Aç ₆ K ₊	0.201	0.132	1.175	0.743	1.135	0.723	3.508	0.076	0.527	0.839
Aç ₈ K ₊	0.120	0.119	1.389	0.825	0.717	0.530	1.140	0.124	0.285	0.682

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır. 2. Katsayı değerlerinden >1 olanlar koyu olarak gösterilmiştir.

Transfer faktörünün hesaplaması matematiksel olarak mümkün olan elementler için TF değerleri Çizelge 4.68’de verilmiştir. Demir elementi ile ilgili konuların tamamında hesaplanan TF değeri 1’den küçüktür. Çinko, mangan, nikel ve kadmiyum elementlerinde bazı konuların 1’den büyük TF değerine sahip olduğu görülmektedir. Çinko elementinde her iki dönemde de en yüksek TF arıtma çamuru uygulaması yapılmayan Aç₀ konularında rastlanmıştır. Arıtma çamuru uygulamalarının TF üzerinde azaltıcı etki yaptığı görülmektedir. Genel olarak birinci dönemde hesaplanan çinko TF’leri daha yüksek bulunurken ikinci dönemde genel bir düşüş gözlenmiş hatta Aç₄K₊, Aç₆K₊ ve Aç₈K₊ konuları 1’den küçük bulunmuştur. Mangan ve nikel TF’leri incelendiğinde uygulamaların belirgin bir etkisi gözlenmemekle beraber çinko elementine benzer şekilde ikinci örneklem döneminde tespit edilen katsayı değerleri daha düşüktür. Hatta mangan ve nikelde ikinci dönem konularında TF değerinin çoğu 1’den küçük bulunmuştur. Krom için hesaplanan TF değerleri incelendiğinde Aç₀ ve en düşük arıtma çamuru uygulama dozu olan Aç₂ konularında değer 1’den büyük olduğunu ancak artan arıtma çamuru uygulamaları ile bu değer 1’in altına düştüğünü görmekteyiz. Dönemlerin ise belirgin bir etkisine rastlanmamaktadır. Hesaplanan TF değerlerinde özellikle Aç₀ konularında 1’den büyük katsayıya rastlanması bu konularda çok az miktarda gelişen biyokütle neticesinde bu element içeriklerinin bitkide konsantre kaldığını, artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile uyumlu şekilde artan biyokütle sonucu diğer uygulama konularında bu elementlerin seyrelerek 1’den küçük değerler aldığı düşünülmektedir.

4.6. Adaptasyon Parsellerinde Yapılan Gözlemler

Araştırma kapsamında üretim arazisinden kesilen rulo çimin piyasa beklentilerini ne ölçüde karşıladığını değerlendirmek ve toprağa serildikten sonraki gelişimini gözlemlemek için de bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda üretim parsellerine komşu bir alan hazırlanmış ve hasad edilen rulo çimler deneme desenine uygun şekilde serilip gözlemlenmiştir.

Çalışmada rulo çimin araziden kesilip taşınması esnasında kontrol parsellerinde dağılma ve parçalanmanın çok fazla olduğu görülmüştür. Bu durum söz konusu parsellerden ticari olarak pazarlanabilir kalitede ürün elde etme imkânını ortadan kaldırmıştır. Kesilen rulo çimlerin toprak katmanını incelendiğinde bir miktar ayrışmasını tamamlamamış ve morfolojisini kısmen koruyan arıtma çamuru granülünün olduğu görülmüştür. Rastlanan granül miktarı artan arıtma çamuru uygulamaları ile uyumlu olarak artmaktadır. Arıtma çamuruna kurutma aşamasında ısı uygulandığı bilinmektedir. Bu işlemin arıtma çamurunun toprakta ayrışma süresinin uzamasına neden olduğu düşünülmüştür. Böylece araziye uygulanan arıtma çamurunun minerilize olması diğer organik maddelere göre daha uzun sürebileceği gibi arıtma çamurunun bir kısmının da kesilen rulo çim ile birlikte araziden taşınmakta ve serildiği yerde ayrılmaya devam etmektedir. Adaptasyon parsellerine serilen rulo çimlerin tamamının yeni yerlerine adapte olduğu görülmüştür. Ancak özellikle arıtma çamuru uygulama dozu arttıkça parsellere serilen rulo çimin büyümesi ve alana yayılma hızının arttığı fark edilmiştir. En yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan AÇ₈ ve AÇ₆ parselleri bir ay içinde biçim yüksekliğine gelirken diğer parsellerdeki gelişimin nispeten daha yavaş seyrettiği gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Adaptasyon parselleri

5. SONUÇLAR

Çalışmada stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun rulo çim yetiştiriciliğinde tek başına ya da kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte kullanım imkanları araştırılmıştır. Bu kapsamda materyalin tarım topraklarında kullanımını kısıtlayan en önemli tehdit unsuru olan ağır metal riski de değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelenerek materyalin rulo çim yetiştiriciliğinde kullanım potansiyeli ve çevreye etkileri tartışılmıştır.

Denemede kullanılan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru, Antalya Hurma İleri Evsel Atık Su Arıtma Tesisi'nden alınmıştır. Materyal 6m²'lik (3m x 2m) parsellere 0 ton da⁻¹ (AÇ₀-Kontrol), 2 ton da⁻¹ (AÇ₂), 4 ton da⁻¹ (AÇ₄), 6 ton da⁻¹ (AÇ₆), 8 ton da⁻¹ (AÇ₈) olmak üzere beş farklı dozda uygulanmıştır. Ayrıca arıtma çamuru uygulamalarının tek başına ve kimyasal gübre ile birlikte kullanımlarının yaratacağı etkileri belirleyebilmek için çalışmaya kimyasal gübre uygulaması, 2 konu (KGØ, KG+) şeklinde dahil edilmiştir. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak tesis edilmiştir. Deneme sahası toplam 40 parselden oluşmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları parsellere karıştırıldıktan sonra inkübasyon için 21 gün beklenmiştir. İnkübasyon sonunda planlanan parsellere kimyasal gübre uygulaması yapıldıktan sonra rulo çim yetiştirmek amacıyla bermuda çim bitkisi, stolon tekniği ile araziye dikilmiştir. Daha sonra deneme takvimine göre lolium çimi parsellere üstten tohumlama ile ekilmiştir. Detayları çalışmanın materyal metod kısmında verildiği şekli ile denemenin arazi kısmı on beş ay sürdürülüp tamamlanmıştır. Bu süre zarfında üç dönem toprak, iki dönem bitki üst aksam ve kök örnekleme yapılmıştır. Kesilen rulo çimlerin serildikleri yerlerdeki performansının belirlenmesi için de kurulan adaptasyon denemesi gözlenmiştir. Alınan örneklerde laboratuvar koşullarında kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bazı parametrelerde arazide tespit edilip kayıt altına alınmıştır. Veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve literatür verileri ile kıyaslanmıştır.

Veriler değerlendirildiğinde artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirme ortamlarının pH'nın düzenli olarak azaldığı, kimyasal gübre uygulamalarının pH'da ki bu düşüşü teşvik ettiği görülmüştür. Toprak pH'ında ki düşüşle bitki besin elementlerinin yarıyışlılığının ve alınımının artacağı beklenmektedir. Yüksek organik madde içeren arıtma çamurunun minerilizasyonu ile ortaya çıkan asitlik unsurlarının ve kullanılan kimyasal gübrenin fizyolojik asit karakterli olmasının pH'da ki düşüşte pay sahibi olduğu sanılmaktadır. Zamanla pH'ın tekrar yükseldiği gözlenmiştir. pH'ın uygulama öncesi değerine dönme eğilimi beklenen bir durumdur. Toprağın tamponlama kapasitesi üzerinde yüksek kireç içeriğinin etkili olduğu düşünülmektedir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile yetiştirme ortamlarının EC'sinin düzenli olarak arttığı, kimyasal gübre uygulamalarının EC'de ki bu artışı teşvik ettiği görülmektedir. Arıtma çamurunun minerilizasyonu ile toprak çözeltisine geçen iyonların EC'de artışa neden olması beklenen bir durumdur. Artan uygulama dozuna bağlı olarak bu etki de artmıştır. Diğer yandan uygulanan kimyasal gübrelerin de EC'yi arttırdığı bilinmektedir. Ancak söz konusu EC artışı toprakta ve bitkide risk oluşturacak düzeylere ulaşmamıştır. Toprağın EC sınıflandırmasında değişikliğe neden olmamıştır. Toprağın EC değeri kadar EC'yi oluşturan elementlerin kompozisyonu da önemlidir.

EC’de gözlenen bu artış minerilizasyon ile toprağın bitki besin elementlerince zenginleşmesinin doğal bir göstergesi olduğu düşünülmektedir.

Aritma çamurunun uygulandığı topraklarda yarattığı en önemli faydalardan biri de toprak organik maddesini zenginleştirmesidir. Özellikle ülkemiz gibi düşük organik madde içeriğine sahip topraklarda bu etki daha da önemlidir. Organik maddede ki artış ile beraber toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde yaşanan iyileşme, verim ve kalite üzerine olumlu etki yaratmaktadır. Çalışmada literatür ile uyumlu şekilde yetiştirme ortamlarının organik madde içeriğinde kıymetli artışlar kaydedilmiştir. Materyal kurutma ve sterilizasyon aşamalarında yüksek ısıya (170°C’ye kadar sıcaklık çıkabilmektedir.) maruz kalmaktadır. Bu işlem sonucunda hem materyalin ayrışması daha kontrollü hale gelirken hem de yabancı ot tohumundan ve patojenlerin büyük kısmından arı hale gelir. Böylece arıtma çamuru diğer organik materyallere göre toprakta daha uzun süre kalabilir ve araziye risk taşıma ihtimali düşer. Çalışma esnasında materyalden kaynaklı yabancı ot sorunu ile karşılaşmadığı gibi bahsedildiği şekilde arıtma çamurunun ayrışmasının zamana yayıldığı gözlenmiştir. Diğer yandan materyalin atık bir malzeme olması nedeniyle diğer organik madde kaynaklarına göre ekonomik avantaj sağladığı da göz ardı edilmemelidir.

Toprağa artan dozlarda arıtma çamuru uygulaması ile yetiştirme ortamlarının ve bitki üst aksamının azot içeriğinde düzenli artış tespit edilmiştir. Kimyasal gübre uygulaması da toprakta ve bitki üst aksamında azot içeriğini artırıcı yönde etki etmiştir. Uygulamalar ile köklerin azot içeriğinde bir değişim tespit edilmemiştir. Arıtma çamuru uygulaması ile çim yetiştiriciliğinde en çok kullanılan bitki besin maddesi olan azotun hem toprakta hem de bitki üst aksamında arttırmak mümkün olmuştur. Ancak çimde aşırı azot beslenmesi bitkiyi hastalık ve zararlılara cazip hale getirmesi ve saha bakım maliyetlerinde yarattığı artış nedeniyle sıkı takip edilmesi gereken bir durumdur. Özellikle en yüksek arıtma çamuru uygulama dozları olan AÇ₈ ve AÇ₆ konularında bitki gelişimi hızlı olmuştur. Bu duruma toprağa arıtma çamuru ile uygulanan azotun ihtiyaçtan daha fazla olmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Söz konusu parsellerde saha bakım maliyetlerinin ve işçiliğin artışı gözlenmiştir. Ayrıca bu parsellerin yeşil kurt zararlısına daha hassas olduğu da fark edilmiştir.

Yetiştirme ortamlarının, bitki üst aksamının ve kökün fosfor içeriğinde arıtma çamuru uygulamaları ile uyumlu olarak düzenli artış tespit edilmiştir. Kimyasal gübre uygulaması da tüm örneklerde tespit edilen etkiyi teşvik eder yönde olmuştur. Uygulamalar ile sağlanan bu artış özellikle toprak özelliklerinden dolayı kimyasal gübre uygulamalarının bile fosfor beslenmesinde yeterince etkili olamadığı kireçli topraklarda özel önem kazanmaktadır. Toprak çözeltisindeki fosforun olumsuz toprak reaksiyonu ve yüksek kireç içeriğinden etkilenecek çökeldiği ve bitki tarafından alınamaz forma dönüştüğü bilinmektedir. Arıtma çamurunun ayrışması ile meydana gelen şelatör maddelerin olumsuz toprak özelliklerinin fosfor iyonları üstündeki istenmeyen etkisini azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca pH’da gözlenen düşüş de fosfor beslenmesini teşvik eder yöndedir. Arıtma çamuru uygulaması ile fosfor beslenmesinde kaydedilen gelişimin tarımsal değerinin önemli olduğu düşünülmektedir.

Yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum içeriğinde, bitki üst aksamının ve kökün potasyum içeriğinde arıtma çamuru uygulamaları ile uyumlu olarak düzenli artış tespit edilmiştir. Kimyasal gübre uygulaması da tüm örneklerde tespit edilen etkiyi

teşvik eder yönde olmuştur. Denemede kullanılan arıtma çamurunun potasyum içeriği toprağın potasyum içeriğinden yüksektir. Ancak söz konusu fark ile potasyum konsantrasyonlarındaki genel artışın açıklanması güçtür. Bu düşünce uygulamaların toplam potasyum içeriğine olan etkisinin önemsiz bulunması ile desteklenmektedir. Bu noktada arıtma çamurunun potasyum beslenmesinde yarattığı asıl etkinin elementin toprak çözeltisine geçişini ve bitki tarafından alınabilirliğini arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak bitkinin azot ve potasyum dengesinin toprağa yüksek arıtma çamuru uygulanması ile azot lehine bozulma riski vardır. Bu risk potasyum ihtiyacı görece diğer bitkilere göre daha yüksek olan çim bitkileri için daha da risklidir. Böyle durumlarda besin elementi dengesizliklerinin önlenmesi için, kullanılan arıtma çamuru miktarı sınırlandırılması ya da kimyasal gübreleme ile potasyum ilave edilmesi faydalı olabilir.

Toprağa artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile bitki üst aksamının kalsiyum içeriğinde düşüş tespit edilmiştir. Bu etki büyük olmamakla beraber bitki besleme açısından göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle kum bünyeli alanlarda tesis edilen çim sahalarda ya da kalsiyum beslenmesi kalite ve raf ömrü açısından daha kritik rol oynayan bitkilerde arıtma çamuru uygulamaları ile birlikte gerekli olması durumunda yapraktan kalsiyum uygulamalarının da yapılmasında faydalı olabilir.

Yetiştirme ortamlarının değişebilir magnezyum içeriğinde ve bitki üst aksamının magnezyum içeriğinde arıtma çamuru uygulamaları ile uyumlu artış tespit edilmiştir. Denemede kullanılan arıtma çamurunun magnezyum içeriği toprağın magnezyum içeriğinden yüksektir. Ancak söz konusu fark ile magnezyum konsantrasyonlarındaki genel artışın açıklanması güçtür. Bu noktada arıtma çamurunun magnezyum beslenmesinde yarattığı etkiye materyalin bitki besin elementlerinin alınabilirliğini arttırmasının da destek olduğu düşünülmektedir.

Uygulamaların toprağın değişebilir sodyum içeriğinde ve bitki üst aksam sodyum içeriğinde bir miktar artışa neden olduğu belirlenmiştir. Ancak bu artış toprak ve bitki için risk oluşturabilecek düzeyde olmamıştır. Bu düşüncemizi toprağın EC değerleri de desteklemektedir. Benzer şekilde EC değerlerinde de bir miktar artış gözlemiştik ancak bu artışlar toprağın tuzluluk sınıfında bir değişime neden olmamıştır.

Çalışmada arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak bitkide ve toprakta demir, çinko ve bakır elementlerinin konsantrasyonlarında önemli artışlar gözlenmiştir. Bilindiği gibi bitki beslemede kritik öneme sahip bu elementlerin topraktaki niceliklerinden daha önemli olan faktör bitkiye yarıyışlılıklarıdır. Toprak özellikleri tarafından alınabilirlikleri önemli ölçüde belirlenen bu elementlerin özellikle yüksek pH ve kireç içeriğine sahip topraklarda yetiştirilen bitkilerde noksanlıklarına daha sık rastlanmaktadır. Ülkemizin geneli mikro element beslenmesi açısından dezavantajlıdır. İçinde bulunduğumuz iklim kuşağı, jeolojik yapı ve coğrafi konumdan dolayı ülke topraklarımızın büyük bölümü yüksek kireç içeriğine sahip yüksek pH'lı topraklardır. Ayrıca toprakların organik madde içeriği de oldukça düşüktür. Bununla birlikte kum bünyeli topraklarda tesis edilen çim alanlarda mikro element noksanlıklarına sık rastlanmaktadır. Bahsedilen olumsuz toprak koşulları nedeniyle mikro element beslenmesinde sıklıkla yapraktan gübrelemeye ihtiyaç duyulur. Çalışma sonuçları arıtma çamuru uygulamaları ile demir, çinko ve bakırın hem toprakta alınabilir değerlerinin hem de bitkide ki konsantrasyonunun arttığını göstermektedir. Bu durum

arıtma çamuru uygulamaları ile toprağa bu besin elementlerinin kazandırılmasının yanında toprak pH'sında sebep olduğu düşüş ve toprağa kazandırdığı şelatör maddeler ile bu elementlerin bitki tarafından alınabilirliğini de arttırdığını göstermektedir. Arıtma çamuru uygulaması ile yeterli demir, çinko ve bakır beslenmesi sağlanarak ayrıca bu elementlerin verilmesine gerek kalmayacağı düşünülmektedir. Ancak diğer önemli bir mikro element olan mangan için arıtma çamuru uygulamaları ile toprakta alınabilir konsantrasyonunda artış tespit edilirken bitki üst aksamındaki ve kökteki konsantrasyonunda düşüş gözlenmiştir. Bu durum arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetiştirilen bitkilerde mangan noksanlığı yaşanabileceğini düşündürmüştür. Özellikle yapraktan yapılan gübrelemelerde mangan ilavesi faydalı olabilir.

Atık suyun arıtılması neticesinde tesiste ortaya çıkan arıtma çamuru için en büyük problem materyalin su içeriğidir. Su hem materyalin depolanmasını güçleştirirken hem de daha kararsız olmasına neden olur. Bu nedenle susuzlaştırılıp kurutulan arıtma çamuru kimyasal olarak da stabilize edilir. Ortaya çıkan yeni materyal "Kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru" olarak adlandırılır. Yeni hali ile saklamaya, taşımaya ve toprağa uygulamaya daha elverişli hale gelir. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru da yüksek sıcaklıkta kurutulup stabilize edilmiştir. Bu sebeple materyalin tesisten deneme alanına taşınması ve deneme konularına göre parsellere uygulanmasının araziye kimyasal taban gübresi uygulamaktan daha zor olmadığı görülmüştür. Ayrıca materyalin sıklıkla bahsedilen olumsuz özelliklerinden biri olan koku problemi de diğer organik materyallerden daha büyük bir problem oluşturmamıştır. Bu durum daha öncede bahsedildiği gibi materyalin kurutulmuş ve stabilize edilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Materyalin toprağa karıştırılarak uygulanmasından sonra en yüksek arıtma çamuru dozlarında bile koku problemine rastlanmamıştır. Bahsedilen gözlemler materyalin kamusal alanlarda çevreye rahatsızlık vermeden uygulanabilirliği hakkında ümit vaat etmektedir.

Arıtma çamurlarının tarım topraklarına uygulanması ile karşılaşılan en büyük risk materyalin ağır metal içeriğidir. Bu problem daha çok materyali oluşturan atık suyun kaynağı ve arıtma prosesleri ile ilgili olduğu için materyalin karakteristik bir özelliğidir. Denemede kullanılan arıtma çamuru evsel kaynaklı atık suların arıtılması ile elde edilmiştir. Materyalin alındığı atık su arıtma tesisi, teknoloji ve alt yapı olarak çağın ileri örneklerinden biridir. Bu özellikleri materyalin toprağa güvenli uygulanma şansını arttırdığı için tercih edilmesinde etkili olmuştur. Nitekim çalışma öncesi materyalde yapılan ağır metal analizleri de tarım topraklarına uygulanması ile ilgili ulusal ve uluslar arası sınır değerlere uygun olduğunu göstermiştir. Söz konusu sınır değerler toprak pH'sına göre değişiklik göstermektedir. $pH \geq 7$ toprak şartlarında izin verilen ağır metal içeriği $pH < 7$ şartlarına göre daha yüksektir. Çalışmada denemenin kurulduğu arazinin pH'nın 7'den büyük olması ve yüksek kireç içermesi, arıtma çamurunun toprakta güvenli ve yönetmeliğe uygun şekilde kullanılabilme şansını arttırmıştır.

Çalışmada arıtma çamurunun toprağa uygulanmasını en çok sınırlayan ağır metallerden olan kurşun, kadmiyum, krom ve nikelin risk durumları incelenmiştir. Arıtma çamuru uygulanması ile bu elementlerin toprakta ve bitkide ki değişimini takip edebilmek için örnekleme materyali ve sayısı mümkün olduğunca fazla tutulmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda kullanılacak arıtma çamuru ve deneme arazisi toprağından örnek alınıp ağır metal analizi yapılmıştır. Bulunan sonuçlar arıtma çamurunun ve

toprağın ağır metal içeriğinin materyalin toprağa kullanımı ile ilgili ulusal ve uluslar arası sınır değerlere uygun olduğunu göstermiştir. Daha sonra arıtma çamuru uygulaması ile toprakta ve bitkide ki söz konusu elementlerin konsantrasyonunu takip etmek için belirli aralıklar ile üç defa toprakta iki defada bitkide örnekleme yapılmıştır. Bitkide yapılan örnekleme, bitki üst aksamı ve kökünü kapsamaktadır. Sonuçlar incelendiğinde bitki örneklerinin hiç birinde artan arıtma çamuru uygulamaları ile ilişkilendirilebilecek ağır metal riski ile karşılaşılmamıştır. Uygulamaların bitki dokularının ağır metal içeriğine etkisi bazı elementler için istatistiksel olarak önemsiz bulunurken bazı örneklerde de söz konusu elementin konsantrasyonunu düşürücü etki yaptığı görülmüştür. Uygulamalar ile içeriğinde artış kaydedilen elementlerde ise bu etki çok sınırlı olduğu için ihmal edilebilir düzeyde ve risk oluşturmaktan uzak olarak değerlendirilmiştir.

Uygulamaların toprak ağır metal içeriğine etkisi değerlendirildiğinde kurşun, krom ve nikel için risk tespit edilmemiştir. Bu elementler için değişim sınır değerlerin oldukça altında kalmıştır. Ancak kadmiyum sonuçları üzerinde durmakta fayda vardır. Kadmiyum ile ilgili ulusal sınır değerler bir önceki yönetmeliğe (Eysel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik) göre yeni yönetmelikte (Eysel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik) düşürülmüştür. Daha önceki yönetmelikte toprakta izin verilen kadmiyum sınır değeri 3 mg kg⁻¹ iken yeni yönetmelikte 1.5 mg kg⁻¹ dir. Bu durum bazı uygulama konularında sınır değer çok az da olsa üzerinde kadmiyum ile karşılaşılmasına neden olmuştur. Özellikle son örnekleme dönemi sonuçlarını irdelemek, toprağın en güncel durumu hakkında fikir vereceği için önemlidir. Bu dönemde AÇ₈KGØ, AÇ₈KG+ ve AÇ₆KG+ konularında kadmiyum konsantrasyonu sınır değerlerin bir miktar üstünde tespit edilmiştir. Ancak bu noktada önemli bir detayın altını çizmekte fayda vardır. Toprağa uyguladığımız arıtma çamuru deneme toprağımızdan bile daha az kadmiyum içermektedir. Zaten uygulamaların etkisi istatistiksel olarak da önemsiz bulunmuştur. Yani burada gözlemlediğimiz sonuç arıtma çamuru ile toprağın kadmiyumca zenginleşmesi olamaz. Muhtemelen arıtma çamurunun topraktaki diğer kimyasal etkileri neticesinde kadmiyumun tespit edilebilirliğini arttırması olabilir. Bahsedilen etkiyi DTPA’da ekstrakte edilebilir kadmiyum sonuçlarında daha net görmekteyiz. Bitki üst aksamında yaptığımız kadmiyum analizinde uygulamaların etkisi istatistik olarak önemsiz bulunurken kök örneklerinin kadmiyum içeriğinin uygulamalar ile düştüğü görülmektedir. Veriler kadmiyum ile ilgili bitkide bir risk oluşmadığını göstermektedir. Bu noktada dikkat çekici bir diğer husus kadmiyum için kullanılan ulusal sınır değer diğer ülke ve ilgili kuruluşlar tarafından belirlenen sınır değerlerden daha düşük olmasıdır. Diğer ağır metaller içinde geçerli olan bu durum kadmiyum özelinde arıtma çamurlarının toprağa uygulanmasını önemli ölçüde kısıtlama potansiyelindedir. Bu nedenle konu ile ilgili yapılan çalışmalarda kadmiyuma özel önem vermek faydalı olacaktır. Yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçların bilimsel olarak değerlendirilmesi, konu ile ilgili zengin literatür oluşturulması ve sınır değerlerin tartışılıp revize edilmesi ülkemiz için yararlı olabilir.

Araştırma kapsamında elde edilen değerler kullanılarak biyoakümülyasyon faktörü ve translokasyon faktörleri hesaplanmıştır. Bu değerler ağır metallerin ekosistemde hareketini takip etmek için önemli veriler sunmaktadır. Hesaplanan biyoakümülyasyon faktörleri içinde bitki üst aksam çinko, kadmiyum ve kök çinko

katsayılarında birden büyük değerlere rastlanmıştır. Çinko için bu değer ihmal edilebilir düzeyde kaldığı görülmektedir. Ancak bitki üst aksam örnekleri için hesaplanan kadmiyum BAF katsayıları içinde birden büyük değer sayısı oldukça fazladır. Ayrıca bu değerler arasında yediden büyük olanlar bile vardır. Bu durum rulo çimi meydana getiren çim çeşitlerinden en az birinin kadmiyum için akümülatör bitki olabileceğini düşündürmüştür.

Translokasyon faktörleri incelendiğinde çinko, mangan, nikel ve kromda değerler birden büyüktür. Bitkide sıklıkla noksanlığına rastlanan demir için bu değer birden küçük olduğu görülmüştür. Bu durum demirin bitki tarafından alınımı kadar kökten üst aksama iletiminde de bu elemente özel biyokimyasal sınırlamalar olabileceğini düşündürmüştür. Transfer faktörü mangan ve nikel için incelendiğinde uygulamalar ile belirgin bir etki gözlenmemekle birlikte ikinci örnekleme döneminde tespit edilen katsayı değerlerinin daha düşük olduğu açıktır.

Çalışma kapsamında uygulamaların etkisini sadece kimyasal analizlerle incelemenin rulo çim gelişimi hakkında yeterli bilgi sağlayamaya yetmeyeceği açıktır. Daha kapsamlı bir sonuca ulaşabilmek için bitki gelişimi de takip edilmiştir. Rulo çim ile ilgili ölçüm ve gözlemler yapılarak çalışma verileri zenginleştirilmiştir. Bu kapsamda bitkinin çıkış hızı, kaplama hızı, yaş ağırlık, kuru ağırlık, boy, renk, spad klorofil, toplam klorofil ve parçalanmaya dayanım direnci gibi veriler toplanmıştır. Bulgular ve tartışma kısmında her biri geniş şekilde değerlendirilip tartışılan bu kriterleri genel olarak ele almak gerekirse, arıtma çamuru uygulamaları stolon çıkış hızını arttırmıştır. Ayrıca parsellerin çim ile kapanma süresini düşürdüğü böylece kaplama hızını da arttırdığı görülmüştür. Ayrıca araziden biçilerek kaldırılan yeşil ve kuru ot miktarında arıtma çamuru uygulamaları ile önemli artış sağlanmıştır. Benzer şekilde uygulamalar ile daha uzun bitki boyu kaydedilmiştir. Çim alanların değerlendirilmesinde çim rengi ilk bakılan kriterdir. Sahanın koyu yeşil olması istenir. Uygulamalar ile çim rengine olumlu değişim tespit edilmiştir. Bitkinin hem rengi üzerinde hem de fotosenteze bağlı beslenmesi üzerinde önemli etkiye sahip klorofil içeriğinin de uygulamalar ile arttığı belirlenmiştir. Klorofildeki artış saha şartlarında yapılan spad klorofil ölçümü ve laboratuvar şartlarında yapılan toplam klorofil ölçümleri ile de tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen rulo çim tekniğini kısaca özetlemek gerekirse; üretim sahasında yetiştirilen çim, kesim olgunluğuna geldiğinde özel bir ekipman yardımı ile sahadan hasat edilir. Kesilen çimin boyutları kullanılan ekipmana bağlı olarak yaklaşık 50 cm eninde ve 1 metre uzunluğundadır. Araziden kaldırılan bu parçalar rulo çim olarak adlandırılır. Yaklaşık 1-2 cm kalınlığında toprak-kök katmanı ile bu yüzeyi kaplayan çimden oluşur. Başarılı bir üretimin tamamlanabilmesi için çimin araziden düzgün kesilip kaldırılması, serileceği yere taşınması ve araziye uygulanması gereklidir. Bu aşamalarda kesilen rulo çim dağılıp, parçalanmamalıdır. Parçalanmış rulo çimin araziye serilmesi mümkün olmadığı gibi dağılan rulo çim de yeni serildiği toprağa adapte olmakta güçlük çeker. Yapılan çalışma göstermiştir ki arıtma çamuru uygulamaları ile kesilen rulo çimin parçalanmaya karşı direnci artmıştır. Yapılan gözlemlerde iyi gelişen çim köklerinin kesilen rulo çimin bütünlüğünü korumasında etkili olduğu görülmüştür. Özellikle rulo çim üretiminde kullandığımız çim türlerinden biri olan bermuda çiminin rizom ve stolonlarının uygulamalar ile daha yoğun teşekkül ettiği görülmüştür. Bu durumun rulo çimin parçalanma direncindeki

artışta katkısının olduğu düşünülmektedir. Kesilen rulo çim katmanları incelendiğinde uygulanan arıtma çamurunun bir kısmının kesilen rulo çimler ile birlikte sahayı terk ettiği görülmektedir. Bu durumun iki yönden faydalı olacağı düşünülmektedir. İlki rulo çim ile birlikte taşınan arıtma çamuru yeni serildiği arazide mineralize olmaya devam ederek çimin beslenmesine katkı sağlayacaktır. Diğer araziye uygulanan arıtma çamurunun bir kısmı araziden dolaylı olarak da olsa uzaklaşmış olacaktır. Böylece tekrarlı uygulamalarda üretim arazisinde ağır metal gibi risk unsurlarının problem yaratma ihtimali zayıflayacaktır. Rulo çim yetiştirilen arazilerden her hasad ile birlikte bir miktar yüzey toprağının da taşındığı bilinmektedir. Bu durum zamanla arazi toprak varlığını ciddi şekilde tehdit etme potansiyelindedir. Araziye uygulanan arıtma çamurunun fiziksel varlığı ve kök teşekkülünde sağladığı gelişim ile toprak kaybında azalmaya neden olması beklenmektedir.

Araştırma kapsamında üretim arazisinden kaldırılan rulo çimlerin serildikleri yerlerde ki adaptasyonlarını nitel olarak incelemek için de bir çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda üretim parsellerine komşu bir alan hazırlanmış ve hasad edilen rulo çimler deneme deseninde bu alana serilmiştir. Düzenli sulama dışında bir uygulamanın yapılmadığı bu parsellerdeki rulo çimlerin adaptasyonları ve gelişimleri incelenmiştir. Çalışmada üretilen rulo çimlerin serildikleri yerlerdeki adaptasyonlarının ve gelişimlerinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan gözlemlerde kontrol parsellerinden rulo çimlerin kaldırılması ile uygulama sahasında serilene kadar geçen süreçte parçalanma ve dağılmadan kaynaklı rulo çim kaybının diğer konulara göre çok fazla olduğu görülmüştür. Bu parsellerden elde edilen kullanılabilir ürün çok sınırlı olmuştur. Tüm serilen rulo çimler yeni yerlerine adapte olmakla beraber özellikle arıtma çamuru uygulama dozu yüksek parsellerin görece daha düşüklere kıyasla daha hızlı geliştiği gözlenmiştir. En yüksek arıtma çamuru uygulama dozu olan AÇ₈ ve AÇ₆ parselleri bir ay içinde biçim yüksekliğine gelirken diğer parsellerdeki gelişimin nispeten daha yavaş seyrettiği gözlenmiştir.

Çalışmada rulo çim üretiminde arıtma çamuru kullanımını destekler nitelikte sonuçlara ulaşılmıştır. Arıtma çamuru uygulamalarının çim gelişimi ve kalitesinde olumlu etkileri tespit edilmiştir. Yapılan gözlemler sağlanan gelişimin rulo çim serildikten sonrada sürdüğünü göstermiştir. İncelenen bitki besin elementlerinden birçoğunun toprakta ve bitkide ki konsantrasyonunun uygulamalar ile arttığı tespit edilmiştir. Yüksek dozda arıtma çamuru uygulanan parsellerdeki bitkilerin gelişimlerinde bazı dengesizlikler gözlenmiştir. Bu duruma en net örneklerden biri AÇ₆ ve AÇ₈ doz arıtma çamuru uygulanmış parsellerde bitki gelişiminin biraz daha hızlı seyretmesidir. Bu durum özellikle ilk dönemlerde arazinin yönetimini zorlaştırmıştır. Bu parsellerdeki bitkilerin daha sık biçime gelmesinden dolayı işçilik ve bakım maliyetleri artmıştır. Bu parsellerde gözlenen durumun aşırı azot beslenmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Arıtma çamurlarının yüksek azot içerdiği ve aşırı azotun çim bitkilerinde basma direncini, hastalık ve zararlılara karşı dayanımı azalttığı bilinmektedir. Ayrıca fazla azotun nitrat formu toprakta yıkanarak yeraltı sularına karışabilmekte ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olarak çevre sorunlarına yol açabilmektedir. Ancak ilerleyen dönemlerde bu parsellerdeki bitkilerin gelişim hızının normale döndüğü ancak bu seferde daha düşük uygulama yapılan parsellerde ki bitki gelişiminin yavaşladığı fark edilmiştir. Bu durum uygulanan arıtma çamurunu iki parça halinde verilmesinin daha faydalı olabileceğini düşündürmüştür. Tavsiye edilen

uygulama, bermuda çimi özelinde alanın tesis aşamasında 4 ton da⁻¹ arıtma çamuru uygulanması daha sonra araziden rulo çim kesildikten sonra 2 ton da⁻¹ arıtma çamuru daha uygulanması şeklindedir. Ayrıca çalışmada kimyasal gübre uygulamalarının AÇ₀ ve AÇ₂ dozu arıtma çamuru konularında bir miktar olumlu etki gösterdiği ancak artan arıtma çamuru dozları ile kimyasal gübre uygulamalarının etkisinin giderek önemsizleştiği görülmüştür. Bu durum rulo çim üretiminde arıtma çamuru uygulamaları ile birlikte arazideki mangan, potasyum ve kalsiyum gibi potansiyel noksanlık belirtilerinin takip edilip ihtiyaç hasıl olması halinde bu elementlerin gübrelenmesinin yapraktan yapılmasının daha faydalı olabileceğini düşündürmüştür. Literatürün arıtma çamurunun rulo çim üretiminde yetiştiricilik dönemi boyunca birden fazla kez uygulandığı ve yapraktan gübrelemenin de dahil edildiği çalışmalar ile zenginleştirilmesi tavsiye edilmektedir.

Rulo çim üretiminde tavsiye edilen bu uygulama ile önemli bir atık olan ve her geçen gün bertarafı daha büyük bir sorun haline gelen arıtma çamuruna düzenli ve güvenli bir kullanım alanı sağlanabilir. Ülkemiz topraklarında yaygın karşılaşılan ve üretimi kısıtlayan önemli bir toprak özelliği olan düşük organik madde sorununa sürdürülebilir bir çözüm imkanı doğabilir. Arıtma çamuru uygulamalarında aşırıya kaçmayarak ve materyali toprağa kademeli vererek başta ağır metal ve nitrat kirlenmesi gibi uzun vadede ortaya çıkabilecek çevre sorunlarına karşı önlem alınmış olunabilir. Arıtma çamurunun rulo çim üretiminde kullanımının hedeflenmesi de besin zincirinin dışında bir bitki seçilmiş olması nedeniyle uzun vadede insanların ve hayvanların karşılaşabileceği riskleri baştan önlemektedir. Ayrıca rulo çim üretimi esnasında üst toprağın her kesim ile birlikte sınırlı da olsa taşınması bu topraklarda arıtma çamuru uygulamalarından kaynaklı bir toksisite ile karşılaşma ihtimalini azaltmaktadır.

Ancak unutulmamalıdır ki arıtma çamurları her ne kadar tek bir isim ile adlandırılırsalar da bu materyaller başta atık suyun niteliği, tesisin teknolojisi, stabilizasyon ve kurutma süreçleri gibi bir çok faktörün etkisinde birbirlerinden farklılaşmaktadırlar. Bu durum kaçınılmaz olarak arıtma çamurunun kimyasal kompozisyonunu da özelleştirmektedir. Hatta aynı tesisten farklı dönemlerde çıkan arıtma çamurlarının bile ciddi varyasyon gösterebildiği bilinmektedir. Diğer yandan toprak özellikleri de uygulamaların nihai etkisi üzerinde söz sahibidir. Bu denkleme bir de bitki faktörünü eklemesek şüphesiz bu sacayağı eksik kalır. Görüldüğü gibi arıtma çamurlarının toprağa uygulanması ile ilgili genelleme yapmak, her koşulda geçerli bir reçete ortaya koymak mümkün değildir. Ancak konu ile ilgili fikir yürütüp, değişen şartların etkilerini yorumlaya bilmek ve çözüm önerileri sunabilmek için ihtiyaç duyduğumuz bilimsel akıl yürütmenin ham maddesi veridir. Veriler doğru, çeşitli ve yeterli olduğu ölçüde bizi çözüme taşıyabilir. Konu ile ilgili literatürün çeşitlenip zenginleşmesi bu bakımdan önemlidir.

6. KAYNAKLAR

- Ailincăi, A., Jitareanu, G., Tsadilas, C.D., Ailincăi, D., Zbant, M. and Balan, A. 2009. Effect of municipal sewage sludge on winter rape and soybean production. *Cercetări Agronomice în Moldova*, Vol. XLII, No. 3, 139.
- Akat, H., Altunlu, H. Demirkan, Cetinkale, G., Saracoglu, A.Ö. ve Yokaş, İ. 2017. Kesme gül yetiştiriciliğinde arıtma çamuru uygulamalarının bitki gelişimi, çiçeklenme ve kalite üzerine etkisi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 2017, 54 (3):327-332.
- Aksoy, T. 1967. Trakya Bölgesi topraklarının fosfor durumu ve bu bölge topraklarının fosfor ihtiyaçlarının tayininde kullanılacak metotlar üzerinde bir araştırma. Doktora Tezi, A.Ü. Ziraat Fakültesi Radyofizyoloji ve Toprak Verimliliği Kürsüsü. Ankara.
- Aksu, T. 2008. Isparta belediyesi atık su arıtma tesisinde oluşan çamurun bertaraf stratejilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- Aktaş, M. 1994. Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları. No: 1361 Ankara.
- Akyarlı, A. ve Şahin, H. 2005. Arıtma Çamurlarının Bertarafında Kireç Kullanımı. I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart, İzmir, Türkiye.
- Aldatmaz, G. 2006. Toprağa uygulanabilir nitelikteki arıtma çamurlarının topraktaki bazı enzim aktiviteleri üzerine etkileri. Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 108 s.
- Anaç, D.A., Hakerlerler, H. ve İrget, M.E. 1993. Yağ fabrikası arıtma tesisi atıklarının zeytinliklerde organik gübre olarak kullanılması. *E.Ü.Z.F.Derg.*, 30 (3): 25- 32.
- Angın, İ. 2008. Arıtma çamurlarının fiziksel ve kimyasal toprak düzenleyicisi olarak kullanımı. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Angın, İ. and Yağanoğlu, A.V. 2011. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. *J. Agr. Sci. Tech.*, 13, 757-768.
- Angın, İ. and Yağanoğlu, A.V. 2012. Effects of sewage sludge application on yield, yield parameters and heavy metal content of barley grown under arid climatic conditions . *International J. of Agriculture and Biology*, 14, 811-815.
- Anonim, 2019. <http://www.worldcitiescultureforum.com/data/of-public-green-space-parks-and-gardens> [Son erişim tarihi: 27.11.2019].
- Anonim, 2018. <https://www.asat.gov.tr/tr/tesisler/hurma-aritma-tesisi-2.html?CatID=2> [Son erişim tarihi: 31.12.2018].

- Anonim, 1999. Atıkların Düzenli Depolanması Direktifi (99/31/EC), Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste, Official Journal of the European Communities.
- Anonim, 2010a. T.C. Resmi Gazete, Mevzuat Yönetmelik; Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete Tarihi: 26.03.2010 ve Resmi Gazete Sayısı: 27533.
- Anonim, 2010b. T.C. Resmi Gazete, Mevzuat Yönetmelik; Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete Tarihi 03.08.2010 ve Resmi Gazete Sayısı: 27661.
- Anonim, 2015. Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi Final Raporu, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, ÇŞB, 2015. <https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959> [Son erişim tarihi: 25.03.2020]
- Anonim, 2016. Uluslararası Gübre Sanayi Birliği (IFA) Bilgi Notu. Haziran.
- Anonim, 2019. Antalya ilinin uzun dönem meteorolojik verileri. Antalya Devlet Meteoroloji İşleri Bölge Müdürlüğü (yayınlanmamış). Antalya.
- Anonymous, 1978. Torf fur Gartenbau und Landwirtschaft (DIN 11542).
- Aoyama, M., Zhou, B., Saitah, M. and Yamaguchi, N. 2006. Microbial biomass in soils with calcium accumulation associated with the application of composted lime treated sewage sludge. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(2): 177-187.
- Aparacio, I., Santoz, J.L. and Alonso, E. (2009). Limitation of the concentration of organic pollutants in sewage sludge for agricultural purposes. *Waste Management*, 29 1747-1753.
- Apaydın A. 2005. Sanayiden kaynaklanan toprak kirliliğinin araştırılması: Samsun-Tekkeköy bölgesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-6.
- Appels, L., Dewil, R. and Baeyens, J. 2008. Ultrasonically enhanced anaerobic digestion of sludge. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2, 1, 94-104.
- Arıkan, O.A. and Öztürk, İ. 2008. Arıtma çamuru kompostlaştırılmasında organik evsel katı atık ilavesinin etkisi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Asher, C.J. 1991. Beneficial Elements, Functional Nutrients, and Possible New Essential Elements. *Micronutrients in Agriculture*, 2nd. ed. Soil Sci. Soc. Amer. Book Series No: 4, p. 703- 723, Madison, W.I. USA.
- Avcıoğlu, R. 1997. Çim Tekniği, Yeşil Alanların Ekimi Dikimi ve Bakımı. Ege Üniversitesi Matbaası, 271 s., Bornova-İzmir.

- Avcioğlu, R., Soya, H., Birant, M. ve Geren, H. 1996. Yeşil Alan Buğdaygillerinin Seçiminde Temel İlkeler ve Türkiye'deki Uygulamalar. Türkiye III. Çayır-Mer'a ve Yembitkileri Kongresi, 782-788s, 17-19 Haziran 1996, Erzurum.
- Avcioğlu, R., ve Gül, A. 1997. Bazı yeşil alan buğdaygillerinin ege bölgesi sahil kusağında kullanıma uygunluğu ve değişik çim yatağı üzerindeki performansının araştırması. Ege Üniversitesi Araştırma Fonu Proje No: 94-ZRF-023, Bornova-İzmir.
- Aydemir, O. 1992. Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. Atatürk Üniversitesi Yayınları. No: 734. Erzurum.
- Aydeniz, A., Brohi, R.H. ve Aktuğ, A. 1986. Doğu Akdeniz Topraklarının Mini Bitki Besin Kapsamları. Toprak İlmi Derneği 9. Bilimsel Toplantı Tebliğleri. Yayın No. 4.
- Aydın, M. Başal, H. Şeker, G. Merken, Ö. ve Kaptan, M.A. 2008. Aşağı Büyük Menderes Vadisi Topraklarında Yetişen 2. Ürün Mısırın Beslenme Durumu, Gübre Uygulamaları ve Sorunları. In: 4. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi Bildirileri, 8-10 Ekim 2008, Konya, 174-183.
- Aydın, S. 2004. Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçlarla Kullanımının Araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Bai, Z., Harvey, L.M. and Mcneil, B. 2003. Oxidative stress in submerged cultures of fungi. *Crit Rev Biotechnol.*, 23,267-302.
- Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3-643- 54.
- Baker, A.J.M. and Brooks, R.R. 1989. Terrestrial higher plants which Hyper accumulate metallic elements-a review of their distribution. *Ecology and Phytochemistry, Biorecovery*, 1-81- 26.
- Barcelo, J., Cabot, C. and Poschenrieder, C. 1986. Cadmium induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. Cv Contender), 2 effects of Cd on endogenous abscisic acid levels, *J. Plant Physiol.*, 125, 27-34.
- Bayrak, E.H. 2008. Atık suların arıtımında yapay sulak alan kullanımı. Yüksek lisans tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Baysal, O.H. ve Karagüzel, O. 2005. Paclobutrazolun *Lolium Perenne* 'Ovation' ve *Cynodon Dactylon* X *Cynodon Transvaalensis* 'Tifway' çim çeşitlerinin büyüme özelliklerine etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2005, 18(3), 355-363.
- Beard, J.B. and Green, R.L. 1994. The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans. *Journal of Environmental Quality Vol.*, 23, no: 3, ASA, CSSA, SSSA 677 South Segoe Road, Madison, WI 53711 USA.

- Beck, A., Johnson, D.I. and Jones, K.C. 1996. The form and bioavailability of non-ionic organic chemicals in sewage sludge-amended agricultural soils. *Sci.Total Env.*, 185(1-3), 125-149.
- Beckes, C. Santos, A. J. M., Godoy, L. J. G., Boas, R. L. V. and Oliveira, F. C. 2013. Rates of sewage sludge composted in the zoysiagrass sod production. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:1402-1414.
- Begum, A. 2011. Influence of sewage sludge compost on the cultivation of Maize (*Zea mays* L.). <http://www.eco-web.com/edi/110311.html>.
- Behbahania, A., Mirbagheri, S.A., Khorasani, N., Nouri, J. and Javid, A.H. 2009. Heavy metal contamination of municipal effluent in soil and plants. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(3-4): 851-856.
- Berthet, B., Amiard, J.C., Amiard, C. Triquet, C. Maillet, C. Metayer, J. Bahec, L. Letard, M. and Pelletier, J. 1989. Fate of metals linked with sewage sludge or municipal refuses used as improvements in market gardening. *Wat. Sci. Tech.*, 21 (12) 1917-1920.
- Bertoncini, E.I., D'orazio, V., Senesi, N. and Mattiazzo, M.E. 2008. Effects of sewage sludge amendment on the properties of two Brazilian oxisols and their humic acids. *Bioresour. Technol.*, 99, 4972–4979.
- Bilgili, U. and Açıkgöz, E. 2011. Effects of slow-release fertilizers on turf quality in a turf mixture. *Turkish Journal of Field Crops*. 16: (2) 130-136.
- Bilgili, U., Topaç, Sagban, F. O., Surer, İ., Çalışkan, N., Uzun, P. and Acikgöz, E. 2011. Effects of wastewater sludge topdressing on color, quality, and clipping yield of a turfgrass mixture. *Hort Science*, 46(9):1308–1313.
- Bilgili, U., Zere, S. ve Yeter, F. 2017. Farklı azot dozlarının bermuda çimi (*Cynodon sp.*)'nin gelişimi ve çim kalitesi üzerine etkileri. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 20 (Özel Sayı), 52-59.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H. ve Üstün, H. 2000. İkinci Kademe Arıtılmış Kentsel Nitelikli Atıksu Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları. (Toplu sonuç yayınlanmadı.), Köy Hizmetleri, Ankara, Araştırma Enstitüsü, 12-15.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H. ve Üstün, H. 2002. Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı, ASKİ Arıtma Tesisi Başkanlığı – Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara 1 – 72.
- Black, C.A. 1957. *Soil-Plant Relationships*. John Wiley and sons, Inc., Newyork.
- Black, C.A. 1965. *Methods of Soil Analysis Part 2*. Amer. Society of Agronomy Inc., Publisher Madisson, Wilconsin, U.S.A., 1372-1376.
- Bollard, E.G. 1983. Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition. p. 695- 755. In: *Encyclopedia of Plant Physiology*, New Series. Vol. 15B, Springer- Verlag, New York.

- Bouyoucos, G.J. 1955. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of the Soils. *Agronomy Journal*, 4(9): 434.
- Bozkurt, M.A. ve Yarılg  , T. 2003. Kuru koşullarda arıtma çamuru uygulamalarının elma ağaçlarının verim, büyüme, beslenme statüsü ve ağır metal birikimine etkileri. *Tübitak Turk Journal Agricultural Forestry*, 27 (2003): 285-292.
- Bozkurt, M.A., Yılmaz,   . ve   imrin, K.M. 2000. Kentsel arıtma çamurunun kışlık arpada azot kaynağı olarak kullanılması. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 2000-7(1); 105-110.
- Brady, N.C. 1974. The Nature and Properties of Soils. MacMillan Publishing Company, New York. 592 p.
- Brinck, J.W. 1978. World Resources of Phosphorus. In Ciba Foundation Symposium 57 - Phosphorus in the Enviroment: Its Chemistry and Biochemistry (eds R. Porter and D. W. Fitzsimons), Elsevier, Amsterdam. pp. 23-43.
- Brohi, A.R., Aydeniz, A., Karaman, M.R. ve Er  ahin, S. 1994. Bitki Besleme. Gaziosmanpa  a   nv. Ziraat Fak. Yay.:4 s:105-106 Tokat.
- Camelo, L.G.L., Miguez, S.R. and Marban, L. 1997. Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina. *The Science of The Total Environment*, 204 (3): 245-250.
- Candar, G. 2011. Atık Yönetimi Uygulamasında Adım Adım. 3. Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Kongresi, Samsun. <http://www.das.org.tr/kitap2003/11.htm> [Eri  im Tarihi: 17.11.2012].
- Cheng, H., Xu, W., Liu, J., Zhao, Q., He, Y. and Chen, G. 2007. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. *Ecological Engineering*, 29, 96-104.
- Chimbary, M., Madyiwa, S. and Musesengwa, R. 2001. Pollution implications of disposing wastewater in pasture lands: a focus on heavy metals. 2nd WARFSA/WaterNet Symposium: Integrated Water Resources Management: Theory, Practise, Cases; Cape Town.
- Chipasa, K.B. 2003. Accumulation and fate of selected heavy metals in a biological wastewater treatment system. *Waste Manage.*, 23, 135–143.
- Christians, N. 2004. Fundamentals of Turfgrass Management. John Willey&Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 0-471-45478-8.
- Council Directive 2000/76/EC on the incineration of waste.
- Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture.
-   a  lar, K.  . 1949. Toprak Bilgisi. Ankara   niv. Ziraat Fak. Yayınları, Sayı: 10.

- Çakır, H.N. ve Çimrin, K.M. 2018. Kentsel arıtma çamur uygulamalarının etkisi: I. mısır bitkisi ve topraktaki bazı besin maddesi (N, P, K, Ca, Mg) içerikleri üzerine etkisi. *KSÜ Tarım Doğa Dergisi*, 21(6) : 882-890, DOI:10.18016/ksutarimdog.vi.452930.
- Çakır, H.N., Çimrin, K.M. 2018. Kentsel arıtma çamur uygulamalarının etkisi: II. mısır bitkisi ve toprağın mikro besin element ve ağır metal içerikleri üzerine etkisi. *KSÜ Tar Doğa Derg*, 21(6) : 891-901.
- Çelebi, Ş.Z., Arvas, Ö., Çelebi, R. ve Yılmaz, İ.H. 2011. Rizomlu kırmızı yumak (*Festuca rubra* var. *Rubra*) ile tesis edilen yeşil alanda atıksu arıtma çamurunun tesis gübresi olarak değerlendirilmesi. *Ekoloji Dergisi*, 20,78, 18-25.
- Çerçi, İ. H., Şahin, K., Gürdoğan, F., Şahin, N. ve Erkal, N., 1998. Elazığ Çevresinde Sığır Beslenmesinde Çinkonun Durumu Üzerine Bir Çalışma. I. Ulusal Çinko Kongresi., s: 657-662, Eskişehir.
- Çetin, Y. 2019. Develi ovası topraklarının yarayışlı ve toplam fosfor içeriklerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 36 s.
- Çimrin, K.M., Bozkurt, M.A. ve Erdal, İ. 2000. Kentsel arıtma çamurunun tarımda fosfor kaynağı olarak kullanılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi* 10(1):85-90.
- Dağ, M.C. 2010. Evsel Nitelikli Atıksular Arıtma Prosesleri, Ankara.
- Dalias, P. 2012. Increased yield surplus of vetch-wheat rotations under drought in a mediterranean environment. *The Scientific World Journal*, Article ID 658518, 6 pages. doi:10.1100/2012/658518.
- Daşdemir, A. 2015. İstanbul avrupa yakası otoban kenarlarındaki tarım arazilerinde ağır metal kirliliğinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 59 s.
- Davis, R.D. and Carlton-Smith, C.H. 1980. Crops as indicators of the significance of contamination of soil by heavy metals. Water Research Centre Tech. Rep. TR140, Stevenage (UK).
- Delibacak, S., Okur, B. and Ongun, A.R. 2009a. Influence of treated sewage sludge applications on temporal variations of plant nutrients and heavy metals in a Typic Xerofluvent soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 83, 249-257.
- Delibacak, S., Okur, B. and Ongun, A.R. 2009b. Effects of treated sewage sludge levels on temporal variations of some soil properties of a Typic Xerofluvent soil in Menemen Plain, Western Anatolia, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148, 85–95.
- Demir, E. 2010. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın verim, besin elementive ağır metal içeriğine etkisi. Yüksek lisans tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 49s.

- Demir, E. Çimrin, K.M. 2011. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın gelişimi, besin elementi ve ağır metal içerikleri ile bazı toprak özelliklerine etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 17: 204-216.
- Demirel, G. 2010. Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi ve Arıtma Çamurları Bertarafı. Bildiri Kitabı, İzmir: II. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu.
- Dereli, K. 2017. Farklı azot dozlarının çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.) çeşitlerinin yeşil alan performansı üzerine etkileri. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 56 s.
- Dikilitaş, M. 2012. Bitkilerde strese karşı yeni yöntemler: Mikroorganizmalar ve halofit Bitkiler. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 15(4).
- Dinç, U., Şenol, S., Sayin, M., Kapur, S., Güzel, N. 1988. Güney Doğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAT) I. Harran Ovası, TÜBİTAK, Tarım Ormancılık Araştırma Grubu, Güzümlü Araştırma Projesi Kesin Sonuç Raporu, TAOG, 534, Adana.
- Dölgen, D. 2004. Fiziksel Arıtma Ünitelerinin Tasarımı (Ed. MN. Alpaslan, D. Dölgen, MF, İşgenç, Hİ. Kınay), Arıtma Tesislerinin Tasarım ve Kontrol Esasları. Ankara: TMMOB Yayınları.
- Dudka, S. and Miller, W.P. 1999. Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain. *Journal of Environmental Science and Health*, B34(4): 681-708.
- Düring, R.A. and Gäth, S. 2002. Utilization of municipal organic wastes in agriculture where do we stand, where will we go? *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 165: 544-556.
- Düzgün, T. 2018. Ankara ili evsel atıksu arıtma tesislerinden oluşan çamurların nihai bertarafı örneği. Yüksek lisans tezi. T.C. Aksaray Üniversitesi, Aksaray.
- Eczacıbaşı, B. ve Arcak, S. 1999. Islah edilmiş topraklarda tarımsal atıkların azot mineralizasyonu ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. Yüksek lisans tezi, A. Ü., Ankara.
- Ekşi, A. 2007. Atıksu arıtma tesislerinden elde edilen çamurlar kullanılarak yetiştirilen *Triticum Aestivum* L. ve *Beta Vulgaris* L.'te ağır metal taşınımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- El-Dawwey, G. M. 1993. Effectiveness of sewage sludges and basic slag wheat plants grown in sandy calcareous and loamy soils. *Assuit Journal of Agricultural Sciences*, 24: 171-184.
- El-Naim, M.A., El-Housseini, M. and Naeem M.H. 2004. Safety use of sewage sludge as soil conditioner, *Journal of Environmental Science and Health Part A- Toxic/Hazardous Substance&Environmental Engineering*, 39 (2):435-444.
- Engelhart, M., Kruger, M., Kopp, J. and Dichtl, N. 2000. Effect of disintegration on anaerobic degradation of sewage excess sludge in downflow stationary fixed film digesters. *Water Science Technology*, 41: 171-179.

- Erdem, Ü. 1993. Çim Alanı Uygulama ve Planlama Tekniği. Milli Eğitim Gençlik ve Spor Bakanlığı Beden Terbiyesi ve Spor İl Müdürlüğü Yayınları: S 12, İzmir.
- Ernst, W.H.O., Verkleij, J.A.C. and Schat, H. 1992. Metal tolerance in plants. *Acta Botanica Neerl*, 41-229–248.
- European Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the Protection of the Environment and in Particular of the Soil, When Sewage Sludge is Used in Agriculture.
- Eurostat, 2014. Environment data base. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environment/data/database>. Accessed 30 June 2014
- Evans, L.J., Spiers, G.A. and G. Zhao. 1995. Chemical aspects of heavy metal solubility with reference to sewage sludge amended soils. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 59 (2-4) 291-302.
- Evliya, H. 1960. Kültür Bitkilerinin Beslenmesi. Ankara Üniversitesi Ziraat Yayınları, 36. Ders Kitabı 17, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- Eyüpoğlu, F., Korucu, N., Talaz, S. 1998. Türkiye Topraklarının Bitkiye Yararışlı Bazı Mikro elementler Bakımından Genel Durumu. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları. Ankara.
- FAO, 1990. Micronutrient. Assessment at the Country Level: An International Study.FAO Soil Bulletin by Mikko Sillanpaa. Rome.
- FAO/WHO, 2003. Codex Alimentarius International Food Standards Codex Stan-179. Codex Alimentarius commission.
- Fauziah, C., Hanani, M.N., Zauyah, S., Samsuri, A.W. and Rosazlin, A. 2011. Co-application of red gypsum and sewage sludge on acidic tropical soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42:2561-257.
- Fellner, S. K. 1963. Zinc free plant carbonic anhydrase; lack of inhibition by sulfonamides. *Biochim Biophys Acta*, 77, 155-156.
- Ferrer, A., Mochon, I., ONA, J.D. and Osoria, F. 2011. Evolution of the soil and vegetation cover on road embankments after the application of sewage sludge. *Water Air Soil Pollut.*, 214:231-240.
- Filibeli, A. 1996. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Basım ünitesi, Yayın , 255, İzmir.
- Filibeli, A. 1997. Arıtma Çamurlarının Genel Özellikleri, İşleme ve Bertaraf yöntemleri. DEÜ Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ders Notları,19s, İzmir.
- Filibeli, A. 2002. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi,D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:255, Üçüncü Baskı, İzmir.

- Filibeli, A. 2013. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir.
- Follet, R.H. 1969. Zn, Fe, Mn and Cu in Colorado soils. Ph. D. Dissertation. Colorado State University, Colorado.
- Franco-Hernandez, O., Mckelligan-Gonzalez, A.N., Lopez-Olguin, A.M., Espinosa-Ceron, F., Escamilla-Silva, E. and Dendooven, L. 2003. Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. *Bioresource Technology*, 87(1): 93-102.
- Franco-Hernandez, O., Mckelligan-Gonzalez, A.N., Lopez-Olguin, A.M., Espinosa-Ceron, F., Escamilla-Silva, E. and Dendooven, L. 2003. Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. *Bioresource Technology*, 87(1): 93-102.
- Fransson, A., Aarle, I.M., Olsson, P.A., Tyler, G. 2003. *Plantago Lanceolata* L. and *Rumex Acetosella* L. differ in their utilisation of soil phosphorus fractions. *Plant and Soil*, 248: 285-295.
- Frost, H.L. 2001. Land Application, Biological Decontamination, and Speciation of Metal-Laden Sewage Sludge. The Department of Civil Engineering and Geological Sciences. Notre Dame, Indiana.
- Gahoonia, T.S., Nielsen, E.N. and Ole, B.L. 1999. Phosphorus (P) acquisition of cereal cultivars in the field at three levels of P fertilization. *Plant and Soil*, 211: 269-281.
- Gallet, A., Flish, R., Ryser, J., Frossard, E. and Sinaj, S. 2003. Effect of phosphate fertilization on crop yield and soil phosphorus status. *J. Plant Nutr. Sci.* 166: 568- 578.
- Gallet, A., Flish, R., Ryser, J., Nosberger, J., Frossard, E. and Sinaj, S. 2003. Uptake of residual phosphate and freshly applied diammonium phosphate by *lolium perenne* and *trifolium Repens*. *J. Plant Nutr. Sci.*, 166: 557-567.
- Gardiner, D.T., Miller, R.W., Badamchian, B., Azzari, A.S. and Sisson, D.R. 1995. Effects of repeated sewage sludge applications on plant accumulation of heavy metal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 55 (1) 1-6.
- Garling, D. C. and Boehm, M. 2001. Temporal effects of compost and fertilizer applications on nitrogen fertility of golf course turfgrass. *Agron. J.* 93:548–555.
- Gaynor, J.D. and Halstead, R.L. 1976. Chemical and plant extractability of metals and plant growth on soils amended with sludge. *Can. J. Soil Sci.*, 56: 1-8.
- Gouia, H., Gorbil, M.H. and Meyer, C. 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiol. Biochem.* 38:629-638.

- Göçmez, S. 2006. Menemen ovası topraklarında izsu kentsel arıtma çamuru uygulamalarının mikrobiyal aktivite ve biyomas ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkisi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Griffith, S., Bero. N., Stier. J., Obear. G., Ruis. S. and Soldat. D. 2016. Biosolids as an alternative fertilizer for kentucky bluegrass sod production in Wisconsin. *Crop Science*, v. 57, Suppl1, p. S-227-S-237, 2017.
- Guo, T.R. and Zhang, G.R. 2007. Physiological changes in barley plants under combined toxicity of aluminum, copper and cadmium, colloids and surfaces. *B: Biointerfaces*, 57, 82–188.
- Gupta, R.K., Singh, R.R. and Abrol, I.P. 1989. Influence of simultaneous changes in sodicity and pH on the hydraulic conductivity of an alkali soil under rice culture. *Soil Science*, 147(1):28-33
- Gül, A. ve Avcıoğlu, R. 1997. Bazı yeşil alan buğdaygillerinin, Ege Bölgesi sahil kuşağında kullanılma uygunluğu ve değişik çim yatağı üzerindeki performansının araştırılması. *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Gül, D. 1997. Etkinlikleri yönünden çay atığı ile kimyasal gübrelerin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Gültekin, R., İnal, İ. ve Tansı, V. 2010. Çiftlik gübresinin farklı formlarının, çukurova bölgesi koşullarında, tek yıllık çimin (*Lolium Multiflorum* Lam.) ot ve tohum verimi ile ot kalitesine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. Özel Sayı. ISSN 1018-8851 İzmir.
- Güzel, N., Ortaş, İ. and İbrikçi, H. 1991. Harran ovası toprak serilerinde yararlı mikro element düzeyleri ve çinko uygulamasına karşı bitkinin yanıtı. *Çukurova Üni. Zir. Fak. Dergisi*, 6 (1): 15- 30. Adana.
- Hakerlerler, H. 1980. Kentsel atıkların gübre olarak değerlendirilmeleri. *E.Ü.Z.F.Derg.*, 17:3, 113-131.
- Haktanır, K. 1987. Çevre Kirliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir No:140.
- Hall, J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *J. Exp. Bot.*, 53, 1–11.
- Harari, Y.N. 2016. Homo Deus. Kolektif Kitap, İstanbul.
- Hebbar, U.H., Ramesh, M.N. ve Vishwanathan, K.H. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, no:65, pp. 557- 563.
- Holmes, R.S. 1943. Copper and Zinc Contents of Certain United States Soils. *Soil Sci.* 56: 359-370.
- Hooda, P.S., Nulty, D., Mc, Alloway, B.S. and Aitken, M.N. 1997. Plant availability of heavy metals in soils previously amended with heavy applications of sewage sludge. *J. Sci. Food agric.*, 1997. 73, 446-454.

- Huang, X.L., Chen, Y. and Shenker, M. 2008. Chemical fractionation of phosphorus in stabilized biosolids. *Journal of Environmental Quality*, 37: 1949-1958.
- Hue, N.V. and Ranjith, S.A. 1994. Sewage sludges in Hawaii: chemical composition and reactions with soils and plants. *Water Air Soil Pollution*, 72, 265–283.
- İleri, R. 2007. Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Ders Notları. Sakarya.
- İşgenç, F. ve Kınay, H.E. 2005. Türkiye’de Arıtma Çamurları. I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, AÇS 2005 23-25 Mart, İzmir.
- Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall of India Private Limited. New Delhi.
- Jain, R., Srivastava, S. and Madan, V.K. 2000. Influence of chromium on growth and cell division of sugarcane. *Indian J. Plant Physiol*, (5);228-31.
- Jones, J.B., Wolf, Jr.B. and Mills, H.A. 1991. Plant Analysis Handbook, Micro- Macro Publishing, Inc, 183 Paradise Blvd, Suite 108, Athens, Georgia, USA.
- Kabata- Pendias, A. and Pendias, A.H. 1986. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Pres. LLC(3. Ed.) Boca Raton, Florida.
- Kabir, M.K., Kamala, A.K., Jahan, S., Faizullah, A.M.M. and Ullah, S.M. 2011. Yield of rice and its mineral contents as influenced by sewage sludge and nitrogen. *Bangladesh J. of Sci.Res.*, 24(2): 161-168.
- Kacar, B. 1977. Bitki Besleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 637, 318s, Ankara.
- Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal analizler: III. Toprak Analizleri. A. Ü. Ziraat Fakültesi Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3.
- Kacar, B. 1997. Gübre Bilgisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1490. Ders Kitabı No: 449. 705 s., Ankara.
- Kacar, B. ve İnal, A. 2008. Bitki Analizleri. Cilt 1., Nobel yayını, 892 s, Ankara.
- Kacar, B. ve İnal, A. 2010. Bitki Analizleri, Nobel Yayınları No: 1241.
- Kacar, B. ve Katkat, A.V. 1997. Tarımda Fosfor. Bursa Ticaret Borsası Yayınları No. 5. Uludağ Üniv. Basımevi. Bursa.
- Kacar, B. ve Katkat, A.V. 1998. Bitki Besleme. Uludağ Üniv. Güçlendirme Vakfı Yayınları. No: 127, Bursa.
- Kacar, B. ve Katkat, A.V. 2007. Gübreler ve Gübreleme Tekniği. Nobel Yayınları No: 1119.
- Kadıoğlu, A. 1999. Bitki Fizyolojisi. 2. Baskı, Trabzon.
- Kaplan, M. and Akay, S. 1995. Salinity of Irrigation Water of Greenhouses and Its Effects on The Soil Salinity in Kumluca and Finike Regions. 9th International

- Synposium of Scientific Center of Fertilizers, 25-30 September, Kuşadası, pp. 379-384.
- Kaplan, M. ve Sönmez, S. 2001. Bir yanlışlığa (istismara) dikkat! Seralarda toprak tuzluluğu ve çözümündeki yanlış. *Antalya'da tarım*, S.15-16, Nisan-Eylül, 17-19.
- Kaplan, M., Kadiroğlu, A., Durceylan, M.E. and Şener, H.R. 1998. Effects of different levels of water salinity and fertilization on tomato plant grown in the greenhouse. *Ishs symposium on greenhouse management for better yield and quality in mild winter climates. Acta Hort.* 491:277-281.
- Kaplan, M., Orman, Ş., Kadar, I. and Koncz, J. 2005. Heavy metal accumulation in calcareous soil and sorghum plants after addition of sulphur-containing waste as a soil amendment in Turkey. *Agriculture Ecosystems and Environment.*, vol.111, pp.41-46.
- Kaplan, M., Sönmez, S., Uz, İ. and Tokmak, S. 2002. Salinization problem in Antalya region greenhouse soils and recommendations. *Acta Horticulture*, 573:401-407.
- Kara, Erman, E. ve Bay, T. 2016. Arıtma çamuru sorunu ve Türkiye'nin ilk ve tek yakma tesisi: GASKİ atıksu arıtma çamuru termal kurutma ve yakma tesisi. *Su ve Çevre Teknolojileri*, 91:46-52.
- Kar, Y.B. 2014. Atıkların gazifikasyonunu yapan bir tesiste; endüstriyel arıtma çamurlarının enerji verimliliğinin değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Karaçağıl, D. 2013. İstanbul'da belirlenmiş sahil şeritlerinde toprak kalitesi ve ağır metal kirliliği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Karuç, K., Güçdemir, İ., Altuntaş, İ., Cebel, N., Kalinbacak, K., Terzi, D., Peker, M. ve Güven, E. 2004. Ankara Atıksu Arıtma Çamurunun Tarımda Değerlendirilmesi. <http://www.tgae.gov.tr/webeski/tgaeper/kadriye1yay.htm>.
- Kazi, T.G., Jamali, M.K., Kazi, G.H., Arain, M.B., Afridi, H.I. and Siddiqui, A. 2005. Evaluating the mobility of toxic metals in untreated industrial wastewater sludge using a BCR sequential extraction procedure and a leaching test. *Anal Bioanal Chem.*, 383: 297-304.
- Kellogg, W. 1952. *Our Garden Soil*. The Macmillan Company, New York.
- Kelly, A.F. 1988. *Seed Production of Agricultural Crops*, Longman Scientific & Technical Copublished in the U, S, With John Wiley & Sons, Inc., 227 p.
- Khan, A.G., Kuek, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C.S. and Hayes, W.J. 2000. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, (41):197-207.
- Kılıçarslan, İ. ve Özön, N.N. 2012. Arıtma Çamurunun İncelenmesi ve Maliyeti ve Dünyadaki Arıtma Çamurunun Yakarak Bertarafı. ICS 2012, Kocaeli, 2012.

- Kırımhan, S., Sağlam, M.T. ve Karakaplan, S. 1983. Erzurum' da kentsel atık sular ile sulanan tarım topraklarında kimyasal kirlenme 2. Toprakta ve bitkide ağır metal birikimi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14 (3-4) 13-22.
- Killing, D., Stadelmann, F. and Herter, U. 2001. Sewage Sludge – Fertilizer or Waste? UKWIR Conference, Brussels.
- Kloke, A. 1985. Forschungen Zur Raumentwicklung. 14,13-24.
- Kocaer, F.O. ve Başkaya, H.S. 2001. Arıtma çamurlarının araziye uygulanması. *Ekoloji*, 11, 12-15.
- Kocaer, F.O. ve Şahinkaya, H.S. 2001. Arıtma Çamurlarının Araziye Uygulanabilirliği Kapsamında Bitkiye Yarayışlı Azot, Fosfor Ve Potasyum Seviyeleri. UKAK 2001- Ulusal Katı Atık Kongresi, Arıtma Çamurları. 18-21 Nisan, İzmir.
- Kocaer, F.O., Kemiksiz, A. ve Başkaya, H.S. 2003. Arıtma çamuru uygulanmış bir topraktaki organik azotun mineralizasyonu üzerine bir araştırma. *Ekoloji*, Issue 46, Pages: 12-16.
- Kovancı, İ. 1969. İzmir Bölgesi Tarla Topraklarında Nitrifikasyon Durumu ve Bunun Bazı Toprak Özellikleri ile Olan İlişkisi Üzerine Araştırmalar. Ege Üniversitesi Matbaası, Bornova.
- Küçükhemek, M., Gür, K., Berktaş, A. 2006. Evsel karakterli atık su arıtma çamurlarının çim bitkisi ağır metal içeriği üzerine etkisi. *Selçuk Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(3-4).
- Küçükhemek, M., Gür, K., Uyanöz, R. ve Çetin, Ü. 2005. Arıtma Çamuru ve Çiftlik Gübresinin Çim Bitkisi Verimine ve Renk Özelliğine Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu Bildiri Kitabı, İzmir, 25-26 Mart 2005: 375-384.
- Küçükhemek, M., Gür, K. ve Uyanöz, R. 2008. Toprağa uygulanan arıtma çamuru, ahır gübresi ve karışımlarının, çim bitkisinin bazı makro-mikro besin elementleri ve verimi üzerine etkisi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(45): 94-104.
- Kün, E. 1983. Serin İklim Tahılları. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları: 875, Ders Kitabı: 240, Ankara, 307s.
- Kyle, M.A. and McClintock, S.A. 1995. The availability of phosphorus in municipal wastewater sludge as a function of the phosphorus removal process and sludge treatment method. *Water Environment Research*, 67 (3) 282-289.
- Lakhdar, A., Slatni, T., Lanneli, M.A., Debez, A., Pietrini, F., Jedidi, N., Massaci, A. and Abdelly, C. 2012. Risk of municipal solid waste compost and sewage sludge use on photosynthetic performance in common crop (Triticum durum). *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(3), 1017-1026.

- Lane, R.A. 1988. The effect of sewage sludge application to bermudagrass on forage quality production, and metal accumulation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 20, Issue 3, Pages 209-219
- Lassen, R., Tyell, J.C. and Hansen, J.A. 2004. Phosphorus recovery from sewage sludge for agriculture. *Waste Management & Research*, Vol. 2, No. 4, pp. 369-378, 2004.
- Laternus, F., Von, Arnold, K. and Gron, C. 2007. Organic contaminants from sewage sludge applied to agricultural soils – false alarm regarding possible problems for food safety? *ESPR – Environmental Science and Pollution Research*, 14, p 53–60.
- Lee, D.J. and Liu, J.C. 2004. Route to synthesize the sludge management processes. *Water Sci and Technol*, v.49, n. 10, 259-266.
- Li, X., Liu, P.S. 2001. Heavy Metal Contamination of urban soils and street dusts in hong kong. *Applied Geochemistry*, 16: 1361-1368.
- Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. Wiley: New York, NY.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.L. 1978. Development of DTPA soil test zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
- Liu, X.H., Gao, Y.T., Sardar, K., Duan, G., Chen, A.K. and Ling, L. 2008. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnan. *Journal of Environmental Sciences*, 20: 1469-1474.
- Liu, Z.Li, He, X.Y., Chen, W., Yuan, F.H., Yan, K. and Tao, D.L. 2009. Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a potential hyperaccumulator *Lonicera japonica* Thunb. *Journal of Hazardous Material*, 169: 170- 175.
- Logan, T.J. and Harrison, B.J. 1995. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N-vitro soil) and their effects on soil properties. *J. Environ. Qual*, 24, 153–164.
- Lombi, E. and Gerzabek, M.H. 1998. Determination of mobile heavy metal fraction in soil: results of a pot experiment with sewage sludge. *Communications in Soil Sci. And Plant Anaysis*. 29:17-18, 2545-2556.
- Lopez-Mosquera, M.E., Moiron, C. and Carral, E. 2000. Use of dairy-industry sludge as fertilizer for grassland in northwest Spain: Heavy metal levels in the soil and plants. *Resource Conservation and Recycling*, 30:95-109.
- Loue, A. 1968. DiagnosticPetiolare de Prospection. Etudes Sur la Nutrition et al Fertilisation Potassiques de la Vigne. *Societe Commerciale des Potasses d'Alsace Sevices Agronomiques*, 31-41.
- Loue, A. 1986. Les Oligo-Éléments en Agriculture. Agri - Nathan International, 43 Rue du CheminVert, 75011 Paris.

- Lu, J., Gavala, H.N., Skiadas, I., Mladenovska, Z. and Ahring, B. 2008. Improving anaerobic sewage sludge digestion by implementation of a hyper-thermophilic prehydrolysis step. *Journal of Environmental Management*, 88, 4, 881-889.
- Ma, L.Q., Komar, TU, C., Zhang, W., Cai, Y. and Kenelly, E.D. 2001. A fern that hyper accumulates arsenic. *Nature*, 409-579- 582.
- Macfarlane, G.R. and Burchett, M.D. 2000. Cellular distribution of copper, lead and zinc in grey mangrove, *avicenniamarina* (Forsk). *Vierh, Aquat. Bot.*, 68: 45–49.
- Madrid, F., Liphadzi, M.S. and Kirkham, M.B. 2003. Heavy metal displacement in chelate irrigated soil during phytoremediation. *Journal of Hydrology*, 272. 107-119.
- Madyiwa, S., Chimbari, M., Nyamangara, J. and Bangira, C. 2002. Phyto- Extraction Capacity of *Cynodon nlemfuensis* (Star Grass) at Artificially Elevated Concentrations of Pb and Cd in Sandy Soils under Greenhouse conditions. 3rd WaterNet/Warfsa Symposium “Water Demand Management for Sustainable Development”, Dar es Salam.
- Mahdavi, M. and Jafari, J. 2010. Environmental risks due to application of sewage sludge in farmlands. *Ozean Journal of Applied Science*, 3 (2):303-311.,
- Maltas, S. A. and Kaplan, M. 2017. Effect of different amounts of acid application in fertigationon calcareous soil pH. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 41, No. 4, 520–525.
- Manios, T. and Stentiford, E. 2003. The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of typha latifolia plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferus water. *Ecological Engineering*, 20, 65-74, 2003.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd. Ed. p. 1- 889. Academic Press. New York.
- Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. and Thebo, A. 2015. Global Wastewater and Sludge Pro-duction, Treatment and use. Netherlands: Springer.
- Matthews, P.J. 1992. Sewage sludge disposal in the UK: a new challenge for the next twenty years. *Water Environment Journal*, 6: 551-559.
- Mattina, M.J.I., Lannucci-Berger, W., Musante, C. and White, J.C. 2003. Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil. *Environmental Pollution*, 124: 375-378.
- Mays, D.A. and P.M. Giordano, 1988. Benefits from Land Application of Municipal Sewage Sludge. Circular Z-238. Tennessee Valley Authoirty, National Fertilizer Development Center, MuscleShoals, AL.
- Menelik, G., Reneau, R.B. Martens, Jr. D.C. and T.W. Simpson. 1991. Yield and elemental composition of wheat grain as influenced by source and rate of nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*, 14:2, 205-217.

- Mengel, K. and Kirkby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition 4. Ed. Int. Potash. Inst. Bern, Switzerland 665 p.
- Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, Fourth ed. McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New York.
- Metwally, A., Safronova, V.I., Belimov, A.A. and Dietz1, K.J. 2005. Genotypic variation of the response to cadmium toxicity in *Pisum sativum* L.. *J. Exp. Bot.*, 56, 167–178.
- Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R.D., Govindarajan, R., Kuriakose, S.V. and Prasad, M.N.V. 2006. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. *Plant Physiology and Biochemistry* , 44-25–37.
- Moore, R.W., Christians, N.E. and Agnew, M.L. 1996. Response of three kentucky bluegrass cultivars to sprayable nitrogen fertilizer programs. *Crop Sci.*, 36:1296-1301.
- Mota, F. D., Bôas, R. L. V., Mateus, C. M. A. and Silva, T. B. G. 2018. Sewage sludge compost in zoysia grass sod production. *Rev. Ambient. Água*, vol. 14 n. 1, e2301.
- Munsuz, N. ve Ünver, İ. 1983. Türkiye Suları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:882, Ankara.
- Muslu, Y. 1996. Atıksuların Arıtılması. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Yayınları.
- National Research Council. 2002. Biosolids Applied to Land: Advancing Standards and Practices. Washington, DC, National Academy Press.
- Navas, A., Bermudez, F. and Machin, J. 1998. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of gypsisoils. *Geoderma* 87:123-135.
- Nguyen, H. 2005. Recycling Sludge to Produce Fertilizer. *Currents*, 34-35.
- Nisanoğlu, G. 1998. Atık su arıtma sistemlerinin ve bu sistemlerden elde edilen çamurların tarım olanaklarında kullanılması olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Odjegba, V.J. and Fasidi, I.O. 2004. Accumulation of trace elements by *Pistia stratiotes*: implications for phytoremediation. *Ecotoxicology*, 13: 637-646.
- Ok, H. 2012. Farklı düzeylerde kireç içeren topraklarda uygulanan arıtma çamurunun *Cynodon dactylon* (L.) Pers. ve *Lolium perenne* (L.) yetiştiriciliğinde kullanımı ve ağır metallerin biyoakümülyasyonu. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 142 s.
- Ok, H. and Orman Ş. 2018. Nutrient element and heavy metal concentration of ryegrass (*Lolium Perenne* L.) growing in calcareous soils amended with sewage sludge. *Fresenius Environmental Bulletin*, vol.27, no.6, pp.4532-4542, 2018

- Okur, B. ve Delibacak, S. 1996. Prina, Cibre, Karasu ve Çöp Gübresi gibi Doğal Atıkların Toprağın Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu, Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı, Bildiri Kitabı,179-183, 13-15 Mayıs 1996, Mersin.
- Olsen, S.R. and Dean, L.A. 1965. Phosphorus. In: Black CA (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy. Inc. Publisher Madison Wisconsin, 1035- 1049.
- Olsen, S.R. and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties Agronomy Monograph no:9 (2nd ed.) ASASSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 403-427.
- Oral, N. ve Açıkgöz, E. 2002. Çim Alanlar İçin Tohum Karışımları. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Bursa Şube Başkanlığı Yayınları:1, Ön-Mat A.Ş, Bursa, 41s.
- Orçun, E. 1979. Özel Bahçe Mimarisi (Çim Sahaları Tesis ve Bakım Tekniği). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 152, Bornova, İzmir, 106 s.
- Orman, S., Ok, H. and Kaplan, M. 2014. Application of sewage sludge for growing alfalfa, its effects on the macro-micronutrient concentration, heavy metal accumulation and translocation. *Ekoloji*, 23(90): 10-19.
- Orman, Ş. and Kaplan, M. 2007. Effects of calcareous soil and farmyard manure on revegetation of sulphur mine tailings. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16(10):1295-1299.
- Ortiz, O. and Alcaniz, J.M. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata* L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. *Bioresource Technology*, 97(4):545-52.
- Öbek, E., Tatar, Ş.Y., Hasar, H., Arslan, E.I. ve İpek, U. 2004. Kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisi arıtma çamurlarındaki ağır metal düzeylerinin değerlendirilmesi. *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 31-38.
- Öktüren, Asri, F. ve Sönmez, S. 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim*, cilt:23, ss. 36-45.
- Özad, E. 2010. Organik atıklardan rulo çim yetiştirme ortamının hazırlanması. Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H. 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, Adana.
- Özcan, S., Aydın, M.E. and Tor, A. 2011. Atıksu Arıtma Çamurlarının Ekotoksikolojik ve Organik Kirleticiler (PAH, PCB) Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. 109Y179, Tübitak Projesi.

- Özdemir, S., Köseoğlu, G. ve Dede, Ö.H. 2005. Arıtma Çamurlarının Süs Bitkisi Toprağı Hazırlanmasında Kullanımı. I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart, İzmir.
- Özdoğan, N. ve Seferoğlu, S. 2015. Aşağı büyük menderes havzasında sanayi domatesi yetiştiriciliği yapılan arazilerin toprak özellikleri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2015; 12(2) : 109 – 115.
- Özgür, Zambak, A. 2019. Silajlık mısır yetiştiriciliğinde stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun kullanımı. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 84 s.
- Özkan, G. 2009. Endüstriyel bölge komşuluğunda kıyısal kırsal alandaki hava kalitesi; Muallimköy’de partikül maddede ve topraktaki ağır metal kirliliği. Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Gebze, 9,12-22.
- Öztürk, M. 2018. Çimento tesislerinin atık ısısı kullanılarak arıtma çamurlarını kurutma. Ankara.http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/rf9mBbw_F2zjg.pdf [Son erişim tarihi:19.01.2020].
- Özyazıcı, M.A., Özyazıcı, G. ve Bayraklı, B. 2012. Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın ekstrakte edilebilir demir, bakır, çinko ve mangan kapsamı üzerine etkileri. *Toprak Su Dergisi*, 1 (2), 110-118.
- Pagliai, M. and Guidi, G. 1980. Porosity and Pore Size Distribution in a Field Test Following Sludge and Compost Application. In: Proceedings of the Second European Symposium on Characterization, Treatment and Use of Sewage Sludge, 21-23 October 1980.
- Palabıyık, H. 1998. Çevre sorunu olarak kentsel katı atıklar (çöpler) ve entegre katı atık yönetimi. *Türk İdare Dergisi*, 70(420):45-64,1998, Ankara.
- Pascual, J.A., Garcia, C., Hernandez, T. and Ayuso, M. 1997. Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biology and Fertility of Soils*, 24(4):429-434.
- Paulsrud, B. and Nedland, K.T. 1997. Strategy for land application of sewage sludge in Norway. *Water Sci. Technol.*, 36, 283–290.
- Pedreno, N.J., Gomez, I., Moral, R. and Mataix, J. 1996. Improving the agricultural value of a semi-arid soil by addition of sewage sludge and almond residue, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 58: 115-119.
- Peterson, S.O., Henriksen, K., Mortensen, G.K., Ktogh, P.H., Brandt, K.K., Sorensen, J., Madsen, T., Peterson, J. ve Gron, C. 2003. Recycling of sewage sludge and household compost to arable land: fate and effects of organic contaminants, and impact on soil fertility. *Soil Tillage Res.*, 72, 139–152.
- Phalsson, A.M.B. 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water, Air, Soil Pollut.*, 47, 287-319.

- Pinamonti, F., Stringari, G. and Zari, G. 1997. The use of compost: It's effects on heavy metal levels in soil and plants. *Resources, Conversation and Recycling*, 21; 129-141.
- Pizer, N.H. 1967. Some advisory aspect. Soil potassium and magnesium. *Tech. Bull.*, No.14:184.
- Prasad, M.N.V. 2008. Cadmium as an Environmental Contaminant: Consequences to Plant and Human Health, Trace Elements as Contaminants and Nutrients: Consequences in Ecosystems and Human Health, Wiley, U.S.A, 7-373-411.
- Rangnekar, S.S., Sahu, S.K., Pandit, G.G. and Gaikwad, V.B. 2013. Accumulation and Translocation of Nickel and Cobalt in Nutritionally Important Indian Vegetables Grown in Artificially Contaminated Soil of Mumbai, India. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*. Vol. 1(10).
- Reed, B.E., Carriere, P.E. and Matsumoto, M.R. 1991. Applying sludge on agricultural land. *Biocycle*, 32 (7) 58-60.
- Rezig, A.M.R., Elhadig, E.A. and Mubarak, A.R. 2012. Effect of incorporation of some wastes on a wheat-guar rotation system on soil physical and chemical properties. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 1:1.
- Rhyner, C.R., Schwartz, L.J., Wenger, R.B. and Kohrell M.G. 1995. Waste Management and Resource Recovery. Lewis Publishers, USA.
- Richards, I.R., Clayton, J.C., Reeve, A.J.K. 1998. Effects of long-term fertilizer phosphorus application on soil and crop phosphorus and cadmium contents. *Journal of Agricultural Science*, 131: 187-195.
- Rodriguez, D., Andrade, F.H., Goudriaan, J. 2000. Does assimilate supply limit leaf expansion in wheat grown in the field under low phosphorus availability. *Field Crops Research*, 67:227-238.
- Roudsari, O. N. and Pishdar, H. 2007. Evaluation of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for Bermudagrass growth. *Pakistan J Biol Sci*. 10 (9):1371-1379.
- Rozada, F., Otero, M., Moran, A. and Garcia, A.I. 2005. Activated carbons from sewage sludge and discarded tyres: Production and optimization. *Journal of Hazardous Materials B*, 124:181-191, 2005.
- Runge-Metzger, A. 1995. Closing the Cycle: Obstacles to Efficient P Management for Improved Global Food Security. In *Phosphorus in the Global Environment: Transfers Cycles and Management*. Ed. H. Tiessen, Wiley New York pp: 27-42.
- Sabey, B.R., Pendleton, R.L. and Webb, B.I. 1990. Effect of municipal sewage sludge application on growth of two reclamation shrub species in copper mine spoils. *Journal of Environmental Quality*, 19: 580-586.
- Salihoğlu, N.K., Pınarlı, V. and Salihoğlu, G. 2007. Solar drying in sludge management in Turkey. *Renewable Energy*, 32, 1661-1675.

- Salman, A. 2008. Farklı gübre dozlarının bazı serin ve sıcak iklim çimlerinin yeşil alan performanslarına etkisi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Saltabaş, F. ve Soysal, Y. 2010. Evsel atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul'a uygulanabilirliği. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3, 109-116.
- Sanchez-Martin, M.J., Garcia-Delgado, M., Lorenzo, L.F., Rodriquecruz, M.S. and Arienzo, M. 2007. *Geoderma*, 142: 262-273.
- Sarı, M., Aksoy, T., Köseoğlu, T., Kaplan, M., Kılıç, Ş. ve Pılanalı, N. 1993. Akdeniz Üniversitesi Kampüs Alanının Detaylı Temel Toprak Etüdü ve İdeal Arazi Kullanım Planlaması. A.Ü. Bilimsel Araştırmalar Yönetim Birimi raporu, Antalya.
- Schlichting, E. und Blume, H.P. 1960. *Bodenkundliches Praktikum*. ASA Inc. Pub. Madison.
- Schowaneck, D., Carr, R., David, H., Douben, P., Hall, J., Kirchmann, H., Patria, H., Sequi, P., Smith, S. and Webb, S. 2004. A risk-based methodology for deriving quality standards for organic contaminants in sewage sludge for use in agriculture conceptual framework. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, Vol 40.
- Seven, T., Can, B., Darende, B.N. ve Ocak, S. 2018. Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 1(2): 91-103.
- Sever, Mutlu, S. 2017. Sürdürülebilir çim alanlar: gübrenmesi ve hastalıklara karşı bakım tavsiyeleri, *Plant*, cilt.7, ss.94-105.
- Sever, Mutlu, S. Sever, E. ve Sönmez, S. 2019. Mikrobiyal gübre uygulamalarının *Lolium perenne* L. türünün çim performansı üzerine etkileri. *Mediterr Agric Sci*, (2019) 32(Özel Sayı): 147-155
- Sharma, P. and Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1):35-52.
- Silveira, M.L.A., Alleoni, L.R.F. and Guilherme, L.R. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, v.60, n.4, p. 793-806, Oct./Dec. 2003.
- Sims, J.T. and Kline, J.S. 1991. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soil amended with co-composted sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 20, 387-395.
- Sincik, M. 2004. Ak üçgül ile bazı buğdaygil çim türleri karışımlarında farklı azot dozlarının kompozisyon ve çim kalite kriterlerine etkileri. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Singh, K.P., Mohan, D., Sinha, S. and Dalwani, R. 2004. Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agriculture, and environmental quality in the wastewater disposal area. *Chemosphere*, 55: 227-255.

- Singh, R.P. and Agrawal, M. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *Chemosphere*, 67: 2229-2240.
- Singh, R.P. and Agrawal, M. 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73, 632-641.
- Skerman, P.J. and Riveros, F. 1990. Tropical Grasses. FAO Plant Production and Protection Series No: 23, FAO, Rome.
- Smith, S.R. 1992. Sewage sludge and refuse composts as peat alternatives for conditioning impoverished soils: effects on the growth response and mineral status of *Petunia grandiflora*. *J. Hort. Sci.*, 67, 703–716.
- Soil Survey Staff, 1951. Soil Survey Manual. Agricultural Research Administration, U. S. Department Agriculture, Handbook No:18.
- Sommer, A.L. 1945. Copper and Plant Growth. *Soil Sci.* 60: 71-80.
- Sommers, L.E. 1977. Chemical composition of sewage and analysis of their potential use as fertilizers. *J. Environmental Quality*, 6 225-232.
- Sommers, L.E. 1997. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizer. *J. Environmental Quality*, 6:225-232.
- Sommers, L.E. and Nelson, D.W. 1978. Analysis and Their Interpretation for Sludge Application to Agricultural Land. In Application of Sludges and Wastewaters on Agricultural Land: A Planning and Educational Guide, Ed.: B.D. Knezek and R.H. Miller McD 35, USEPA, Washington.
- Sossé, B.A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L.M., Epron, D and Badot, P.M., 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*, (166):1213-1218.
- Soumare, M., Demeyer, A., Tack, F.M.G. and Verloo, M.G. 2002. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Bioresource Technology*, 81:97-101.
- Sönmez, S. ve Özen, N. 2019. Farklı inkübasyon dönemlerine ve vermikompost uygulamalarına bağlı olarak toprakların bitki besin maddesi içeriklerindeki değişim. *Mediterr Agric Sci*, (2019) 32(Özel sayı): 121-125.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N.K., Kaya, H. and Uz, İ. 2006. High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants. *Sci. Agric.(Piracicaba, Braz.)*, 63(3);213-218.
- Spellman, F.R. 1997. Wastewater Biosolids to Compost. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.

- Spinosa, L. and Vesilind, P.A. 2001. Sludge into Biosolids Processing, Disposal and Utilization. IWA Publishing, London.
- SPSS, 2015. SPSS Statistics for Windows, version 23.0. SPSS Inc., Chicago, USA.
- Strauch, D. 1991. Survival of pathogenic micro-organisms and parasites in excreta, manure and sewage sludge. *Rev. Sci. Techn. Off. Int.Epiz.*, 10: 813–846.
- Su, D.C., Wong, J.W.C. and Jagadeesan, H. 2004. Implications of rhizospheric heavy metals and nutrients for the growth of alfalfa in sludge amended soil. *Chemosphere*, 56 957-965.
- Sun, Y.B., Zhoua, Q., Lıua, W., Ana, J., Xua, Z. And Wanga, L. 2009. Joint effects of arsenic and cadmium on plant growth and metal bioaccumulation: A potential Cd-hyperaccumulator and As-excluder *Bidens pilosa* L. *Journal of Hazardous Materials*, 165-1023–1028.
- Sungur, M. ve Özüygür, M. 1986. Türkiye Topraklarının Mikro Element Durumu Hakkında Bir Araştırma. Toprak İlmi Derneği 9. Bilimsel Toplantı Tebliği. Yayın No 4, 29-1.
- Szabolcs, I. 1992. Salinization soil and water and its relation to desertification. *Desertification Bulletin*, 21, 27-32.
- Şendemirci, H.S. ve Korkmaz, A. 2008. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi topraklarının yayayışlı Fe, Mn, Zn ve Cu bakımından durumu. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 23(1):39-50.
- Taban, S. ve Kacar, B. 1991. Orta anadoluda çeltik yetiştirilen toprakların mikro element durumu. *Doğa*, 15: 129 - 145. Ankara.
- Takachi, R., Inoue, M., Ishihara, J., Kurahashi, N., Iwasaki, M., Sasazuki, S., Iso, H., Tsubono, Y., and Tsugane, S. 2007. Fruit and vegetable intake and risk of total cancer and cardiovascular disease. *American Journal of Epidemiology*, 167 (1), 59-70.
- Taşatar, B. 1997. Endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 81 s.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. In: Jones, E.A. (ed.). 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Metcalf and Eddy Inc. McGraw-Hill, New York.
- Terzi, D. 2007. Türkiye'deki bazı arıtma tesislerinden çıkan atık çamurların bitki besin elementleri ve ağır metal içeriklerinin yıl içindeki değişimi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Thun, R., Hermann, R. und Knickman, E. 1955. Die Untersuchung Von Boden. Neuman Verlag, Radelbeul und Berlin, S: 48-48.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L. and Beaton, J.D. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4th Ed. p: 1-754. Macmillan Publishing Company, New York.

- TKKY. 2005. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete, 31 Mayıs 2005, Sayı: 25831, Sayfa: 33.
- Topaç, F.O. ve Başkaya, H.S. 2008. Evsel nitelikli arıtma çamurlarının bitki besin düzeylerinin değerlendirilmesinde azot formlarının önemi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 13, Sayı 1, 2.
- Trenholm, L.E., Unruh, J.B. 2007. Seashore Paspalum for Florida Lawns, <http://edis.ifas.ufl.edu/EP059>.
- Tripathi, B.R., Tandon, H.L.S. and Tyner, E.H. 1970. Native inorganic phosphorus forms and their relation to some chemical indices of phosphate availability for soils of Agra district, India. *Soil Science*, 109(2): 93-101.
- Tsadilas, C.D., Matsi, T., Barbayiannis, N. and Dimoyiannis, D. 2005. Influence of Sewage Sludge Application on Soil Properties and the Distribution and Availability of Heavy Metal Fraction. Soil Science Laboratory, Aristotelian University, Thessaloniki, Greece .pp, 2603-2618.
- Turgeon, A.J. 2008. Turfgrass Management. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 978-0-13-223616-4.
- Turner, T.R. and Hummel, N.W. 1992. Nutritional Requirement and Fertilization (Editors: Waddington, D.V., R.V., Carrov, C.R., Shearman) American Society of Agronomy, Inc. Agronomy No:32, Pp.385-439 Wisconsin, USA.26.
- Tuik, 1994. Belediye atık su istatistikleri. www.tuik.gov.tr
- Tuik, 2006. Belediye atık su istatistikleri. www.tuik.gov.tr
- Tuik, 2018. Belediye atık su istatistikleri. www.tuik.gov.tr
- Tuik, 2019. Belediye atık su istatistikleri. www.tuik.gov.tr
- Türemiş, N., Kaya Z. ve Özgüven, A. 1996. Bazı Tarımsal Atıkların Kompost Yapmak Suretiyle Tekrar Kullanılma Olanakları. Tarım - Çevre İlişkileri Sempozyumu. 13-15 Mayıs Mersin.
- Türkan, İ. 2008. Bitki Fizyolojisi, Palme Yayınları: 455, Palme Yayıncılık.
- Tüzüner, A. 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. T.C. Tarım Orman ve Köy işleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. sf : 21-27.
- UN-Habitat, 2008. Global Atlas of excreta, wastewater sludge and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global. United Nations Human Settlements Programme, Nairobi. http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/habitat2008.pdf. Accessed 18 July 2014
- US, EPA. 1998. Method 3051a— Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils.
- US, EPA.1993. The Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, Title 40 of the Code of Federal Regulations, Part 503.

- Uzun, G. 1989. Peyzaj Mimarlığında Çim ve Spor Alanları Yapımı. Çukurova Ün., Zir., Fak., Yard., Ders Kitabı, No:20:149, Adana.
- Uzun, P. and Bilgili, P. 2011. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılma olanakları. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2):135-146.
- Ülgen, N. 1968. Karadeniz Bölgesi Topraklarının Fosfor Durumu ve Bu Bölge Topraklarının Fosfor İhtiyaçlarının Tayininde Kullanılacak Metotlar Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Vance, P.C., Uhde-stone, C. and Allan, D. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, 157: 423-447.
- Varoğlu, H. 2010. Bazı yeni kamyışı yumak (*Festucaarundinaceae*), çayır salkım otu (*Poapratensis*), kırmızı yumak (*Festucarubra*), ingiliz çimi (*Loliumperenne*) çeşitlerinin çim alan özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, s.44.
- Viets, F.G. and Lindsay, W.L. 1973. Testing Soil for Zinc, Copper, Manganese and Iron. Soil Testing and Analysis. (ed) L.W. Walsh, J.D. Peaton. Soil Sci. Amer. Inc. Madison. U.S.A.
- Viets, F.G. and Lindsay, W.L. 1973. Testing Soils for Zinc. Copper. Manganese and Iron. Soil Soc. of Amer. Inc. Madison Wisconsin USA. 153-172.
- Vlyssides, A.G. and Karlis, P.K. 2004. Thermal-alkaline solubilization of waste activated sludge as a pre-treatment stage for anaerobic digestion. *Bioressour. Technol.*, 91, 201-206, 2004.
- Vogel-mikus, K., Drobne, D. and Regvar, M. 2005. Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycres *Thlaspi praecox* Wulf (Brassicaceae) from the vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia. *Environmental Pollution*, 133-233– 42.
- Wang, X., Chen, T., Ge, Y. and Jia, Y. 2008. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. *Journal of Hazardous Materials*, 160, 554–558.
- Watschke, T.L. and Schmidt, R.E. 1992. Ecological aspects of turf communities, turfgrass american society of agronomy. *Inc. Agronomy*, 32, 129-174 p.
- Wehner, D.J., Haley, J.E, Martin, D.L. 1988. Late fall fertilization of kentucky bluegrass. *Agron. J.*, 80: 466- 471.
- Wei, S.H., Zhou, Q.X. and Wang, X. 2005. Identification of weed plants excluding the uptake of heavy metals. *Environment International*, 31-829–834.
- Williams, S. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytic Chemist. Published by the Association of Official Analytical Chemist. Inc. Wircini, 22.209, USA, 140pp-59-60.
- Winkler, M. 1993. Sewage sludge treatments. *Chemistry and industry*. (7)pp. 237-240.

- Wong, J.W.C., Fang, Li. K. and Su, M. 2001. Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong. *Environ. Intern.*, 27 (5), 373–380.
- Wong, J.W.C., Li, G. X. and Wong, M.H. 1996. The growth of brassica chinensis in heavy-metal-contaminated sewage sludge compost from Hong Kong. *Bioresource Technology*, 58: 309-313.
- Wu, F.Z., Yang, W.Q., Zhang, J. and Zhou, L.Q. 2010. Cadmium accumulation and growth responses of a poplar (*Populus deltoids* x *Populus nigra*) in cadmium contaminated purple soil and alluvial soil. *Journal of Hazardous Material*, 177: 268-273.
- Yaman, K. 2009. Kentsel arıtma çamurunun tarımda kullanımı konusundaki Türkiye, AB ve ABD yasal düzenlemelerin karşılaştırmalı analizi. *Katı Atık ve Çevre Dergisi*, Sayı 75, 18-26.
- Yaman, K. ve Olhan, E. 2011. Arıtma çamuru kullanımının buğdayın verim, fiziki girdi ve maliyetleri üzerindeki etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, (17):157-166.
- Yeter, T. ve Yurtseven, E. 2015. Sulama suyu tuzluluğu ve yıkama gereksinimi oranlarının yoncada çimlenme ve gelişmeye etkisi. *Toprak Su Dergisi*, 4 (1): (36-42).
- Yıldız, N. ve Bilgin, N. 2008. Erzurum ovası topraklarının fosfor ve potasyum durumunun neubauer fide yöntemi ile belirlenmesi. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 39 (2), 159-165.
- Yıldız, Ş., Yılma, E. ve Ölmez, E. 2009. Evsel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri. Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Younger, V.B. 1959. Growth of U-3 *Bermudagrass* Under Various Day Night Temperatures and Light Intensities. *Argon. Jour.*, 51:557-559.
- Zabunoğlu, S. 1967. Çarşamba ovası topraklarının fosfor durumu ve bu bölge topraklarının fosfor ihtiyaçlarının tayininde kullanılacak metodlar üzerinde bir araştırma. Doçentlik Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Zayed, A. Gowthaman, S. Terry, N. 1998. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*, 27: 715-721.
- Zengin, K.F ve Munzuroğlu, Ö. 2005. Fasulye fidelerinin (*phaseolus vulgaris* l.strike) klorofil ve karotenoid miktarı üzerine bazı ağır metallerin (Ni+2, Co+2, Cr+3, Zn+2) etkileri. *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1); 164-172.
- Zengin, M., Şeker, C. ve Uyanöz, R. 1999. Buğday anızı karıştırılmış toprağın azot mineralizasyonu ve C:N oranı üzerine bazı organik gübreler ile üre gübresinin etkileri. *Selçuk Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(20): 1-9.
- Zhang, S., Chen, M., Li, T., Xu, X. and Deng, L. 2010. A newly found cadmium accumulator—*Malva sinensis* Cavan. *Journal of Hazardous Materials*, 173-705–709.

- Zhang, W., Cai, Y., Tu, C. and Ma, L.Q. 2002. Arsenic speciation and distribution in an arsenic hyperaccumulating plant. *The Science of the Total Environment*, 300: 167-177.
- Zheng, G.D., Gao, D., Chen, T.B. and Luo, W. 2006. Stabilization of nickel and chromium in sewage sludge during aerobic composting. *Journal of Hazardous Material*, 142: 216–221.
- Zorer, Ş., Hosafloğlu, İ. and Yılmaz, İ.H. 2004. Çim alanlarında uygun azotlu gübre uygulama zamanlarının belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi*, 14(1), 27-34.
- Zorlu, H. ve Pehlivan, H. 2016. Arıtma çamurunun alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği. *SAÜ Fen Bil Der.*, 20. Cilt, 2. Sayı, s. 177-184.
- Zufiaurre, R., Olivar, A., Chamorro, P., Nerin, C. and Callizo, A. 1998. Speciation of metals in sewage sludge for agricultural uses. *Analyst*, 123, 255-259.

7. EKLER

EK 1. Avrupa Birliği toprak ve arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri (86/278/EEC)

Ağır metaller	Toprak ¹ mg kg ⁻¹ kuru madde pH 6-7	Arıtma çamuru ² mg kg ⁻¹ kuru madde	Yıllık sınır değerler ³ kg ⁻¹ ha ⁻¹ yıl ⁻¹
Kadmiyum (Cd)	1-3	20-40	0.15
Bakır (Cu)	50-140	1000-1750	12
Nikel (Ni)	30-75	300-400	3
Kurşun (Pb)	50-300	750-1200	15
Çinko (Zn)	150-300	2500-4000	30
Civa (Hg)	1-1.5		

1 Topraktaki sınır konsantrasyonlar, mg kg⁻¹

2. Tarımsal amaçlı kullanım için arıtma çamuru sınır konsantrasyonları, mg kg⁻¹

3. Toprakta on yıllık ortalamalar esas alınarak bir yılda toprağa verilmesine izin verilecek ağır metal yükü sınır değeri, kg⁻¹ha⁻¹yıl⁻¹

EK 2. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı resmi gazete)

Ağır metaller	Ek 1-A ¹		Ek 1-B ² Arıtma çamuru mg kg ⁻¹ , kuru madde	Ek 1-E ³ Sınır Yük Değeri g ⁻¹ da ⁻¹ yıl ⁻¹ , kuru madde
	Toprak mg kg ⁻¹ , fırın kuru toprak			
	6≤ pH<7	pH≥7		
Kurşun (Pb)	70	100	750	225
Kadmiyum (Cd)	1	1.5	10	3
Krom (Cr)	60	100	1000	300
Bakır (Cu)	50	100	1000	300
Nikel (Ni)	50	70	300	90
Çinko (Zn)	150	200	2500	750
Civa (Hg)	0.5	1	10	3

1. Topraktaki ağır metal sınır değerleri, mg kg⁻¹

2. Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda izin verilecek ağır metal sınır değerleri, mg kg⁻¹

3. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda toprağa verilmesine izin verilecek ağır metal yükü sınır değerleri, g⁻¹da⁻¹yıl⁻¹

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin OK

huseyinok@akdeniz.edu.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2013-2020	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2010-2012	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2005-2009	Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Antalya
Lisans 2005-2010	Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Eskişehir

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2010-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Antalya
----------------------------------	--

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- Ok H., Orman Ş., "Nutrient element and heavy metal concentration of ryegrass (*Lolium Perenne* L.) growing in calcareous soils amended with sewage sludge" *FRESEN. ENVIRON. BULL.* Vol.25, 2018.
- 2- Orman Ş., Ok H., Kaplan M., "Application of sewage sludge for growing alfalfa, its effects on the macro- micronutrient concentration, heavy metal accumulation, and translocation", *EKOLOJİ*, no.90, pp.10-19, 2014.
- 3- Orman Ş., Ok H., "Effects of sulphur and zinc applications on growth and nutrition of bread wheat in calcareous clay loam soil", *AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*, vol.11, pp.3080-3086, 2012.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- Ok H., Orman Ş., "Ağır metallerin toprak, bitki ve insanlardaki etkileri", *Hasad Bitkisel Üretim*, no.Sayı: 345, ss.82-87, 2014.
- 2- Sönmez S., Orman Ş., Çıtak S., Kocabaş I., Kalkan H. , Üras D.S., et al., "Kumluca ve Finike yöreleri turuncgil bahçelerinin beslenme durumlarının belirlenmesi", *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, cilt.27, ss.51- 59, 2014.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Sönmez N.K., Yetgin Uz B., Sönmez S., Orman Ş., Çıtak S., Kocabaş I., Kalkan H. , Üras D.S., Ok H., Özsayın Çıtak S., Yılmaz E., Kaplan M., "Spatial variation of Zn content of citrus orchards in Kumluca and Finike Regions", 8th International Soil Science Congress on Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management, TÜRKİYE, 15-17 Mayıs 2012, pp.266-271.
- 2- Ok H., Tavalı İ.E., Maltaş A.Ş., Orman Ş., "Effect of sewage sludge on microbial dynamics of soil", 5.Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, KIRKLARELİ , TÜRKİYE, 12-15 Eylül 2017, pp.206-206.
- 3- Tavalı İ.E., Ok H., "Identification and classification of soil microbial communities responsible for the nitrogen cycle", 5.Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, KIRKLARELİ , TÜRKİYE, 12-15 Eylül 2017, pp.205-205.
- 4- Ok H., Orman Ş., Tavalı İ.E., "Advantages and risks of using sewage sludge in agriculture", 5.Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, KIRKLARELİ , TÜRKİYE, 12-15 Eylül 2017, pp.199-199.

- 5- Ok H., Orman Ş., "Effect of Sewage Sludge Application on Macronutrition of Bermuda Grass (*Cynodon dactylon* L. Pers) Grown on Calcareous Soils ", 2nd International Conference on Science, Ecology and Technology, BARCELONA, ISpanya, 14-16 Ekim 2016, pp:857-867.
- 6- Orman Ş., Ok H., "Kültür Bitkileri Yetiştiriciliğinde Biyofortifikasyon", 7. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, ADANA, TÜRKİYE, 12-15 Ekim 2016, ss.130-131.
- 7- Ok H., Orman Ş., "Determination of the performances of the grass plants on which dried stabilized sewage sludge was applied in soils at different lime levels", XXXVI CIOSTA CIGR Section V Conference Environmentally Friendly Agriculture and Forestry for Future Generations, SAINT PETERSBURG, RUSYA, 26-28 Mayıs 2015, pp.583-584.
- 8- Vuruş M. , Orman Ş., Ok H., Zambak Özgür A., "Antalya/Kumluca İlçesi Seralarında Yetiştirilen Hıyar (*Cucumis Sativus* L.)'In Beslenme Durumu", Ulusal Tarım Kongresi, AFYON, TÜRKİYE, 29-31 Ekim 2015, ss.212-212.
- 9- Ok H., Orman Ş., "Potential environmental risks associated with sewage sludge application in agriculture and solution recommendations", The Soul of Soil and Civilization, ANTALYA, TÜRKİYE, 14-16 Ekim 2014, pp.942-946.
- 10- Ok H., Orman Ş., "Ağır Metal Toksikitesinin Bitkilerde Neden Olduğu Stres ve Bitkilerin Metabolik Yanıtı", 6. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, NEVŞEHİR, TÜRKİYE, 3-7 Haziran 2013, cilt.1, no.1, ss.443-446.
- 11- Ok H., Orman Ş., "Rizosfer Toprağı ve Bitki İlişkileri", 5. Bitki Besleme ve Gübre Kongresi Bildirileri, İZMİR, TÜRKİYE, 15 Eylül 2015 - 17 Eylül 2010, cilt.Özel Sayı, no.1, ss.447-451.