ÖNSÖZ

TÜBİTAK tarafından desteklenen bu projede, su tüketimleri yüksek çim alanların kısıtlı sulama koşulları altında sağlıklı yetiştirilebilmesi amaçlanmıştır. Çim türü olarak serin iklim türleri arasında yer alan *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L., *Festuca arundinaceae* Schreb. olmak üzere dört farklı çim türü kullanılmıştır. Projede çimlerin kısıtlı sulama koşullarında sağlıklı yetiştirilebilmesi amacı ile biyoçar ve silisyum uygulamaları denenmiştir. Kullanılan biyoçar, atık çamurundan elde edilmiştir. Kentsel atıklar sonucu oluşan arıtma çamuru, fazla miktarda organik maddeyle birlikte birçok kirletici de içermektedir. Bu yüzden her geçen gün miktarı artan atık çamuru çevre için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Atık çamurunun çevreye zarar vermeden tekrar doğaya kazandırılması projenin diğer bir amacını oluşturmaktadır. Atık çamurunun biyoçara dönüştürülerek çim alanlarda kullanımı zararlı olan bir materyalin faydalı hale getirilerek kullanımını sağlayacaktır.

Günümüzde kuraklık koşullarının arttığı düşünüldüğünde, kısıtlı sulama koşullarında çim alan tesisi için yapılacak her çalışma önem arz etmektedir. Ayrıca atık çamurunun zararlı etkilerinin bertaraf edilerek kullanılabilmesi büyük bir çevre sorununa karşı atılmış önemli bir adım olacaktır. Yapılan bu çalışma sonucu elde edilen sonuçların bu konuda ileride yapılacak çalmalar için ışık tutacağına inanıyoruz.

Dr. Öğr. Üyesi. Güzella YILMAZ VURAL
Proje Yürütücüsü

TÜBİTAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
TABLO LİSTESİ iii
ŞEKİL LİSTESİ iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ 4
2.1 Çim Alanlar ve Su Tüketimleri 4
2.2 Biyoçar 6
2.3 Silisyum 8
3. GEREÇ VE YÖNTEM 9
3.1 Gereç 9
3.1.1 Çalışmada Kullanılan Toprak ve Arıtma Çamuru Özellikleri 9
3.1.2 Çalışmada Kullanılan Bitki Materyali 11
3.2 Yöntem 11
3.2.1 Biyoçar Üretimi 11
3.2.2 Biyoçarın Karakterizasyonu 12
3.2.3 Saksı Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi 14
3.2.4 Çalışmada Yapılan Ölçümler ve Analizler 15
3.2.5 Çalışmada Yapılan İstatistiksel Analizler 19
4. BULGULAR 19
4.1 Bitki Su Tüketimi (ET) 19
4.2 Verim Tepki Faktörü 20
4.3 Su Kullanım Etkinliği (WUE) 25
4.4 Çıkış Oranı 26
4.5 Bitki Gelişimi 27
4.6 Çim Türlerinin Ağır Metal Konsantrasyonları 37
5. TARTIŞMA 42
5.1 Su Tüketimi, Verim Tepki Faktörü, Su Kullanım Etkinliği 42
5.2 Çim Çıkışları 43
5.3 Bitki Gelişimi 44
5.4 Bitkilerin Ağır Metal Konsantrasyonları 44
5.5 Toprakta Bitkiye Yarayışlı ve Toplam Ağır Metal Konsantrasyonları 45
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 45

TÜBİTAK

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Sera denemesinde kullanılacak toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri 10
Tablo 3.2 Atık çamurunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri 10
Tablo 3.3 Arıtma çamuru biyoçarın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....13
Tablo 4.1 Farklı türlere ait çim tohumlarının farklı ortamlardaki çıkış oranları (%).....27
Tablo 4.2 Bazı çim türlerine ait tohumlarının farklı ortamlardaki çıkış indeksi değerleri.....27
Tablo 4.3 Farklı ortamlarda farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin fide uzunlukları (cm).....27
Tablo 4.4 Farklı ortamlarda, farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin kök uzunlukları (mm).....29
Tablo 4.5 Farklı ortamlarda, farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin fide yaş ağırlığı (g).....31
Tablo 4.6 Farklı ortamlarda, farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin kök yaş ağırlığı değerleri (g).....32
Tablo 4.7 Farklı ortamlarda ve farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin yeşil ot verimi (g).....33
Tablo 4.8 Farklı ortamlarda ve farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin kök verimi (g).....35
Tablo 4.9 Farklı ortamlarda yetiştirilen çim türlerinde renk gelişimi (1-9 puan).....36
Tablo 4.10 Farklı ortamlarda yetiştirilen çim türlerinin kapladığı alanlar (%).....36
Tablo 4.11 Çim bitkisinin ağır metal konsantrasyonları (ppm).....37
Tablo 4.12 Toprakta bitkiye yarayışlı ağır metal konsantrasyonları.....39
Tablo 4.13 Toprakta toplam ağır metal konsantrasyonları (ppm).....41

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Biyoçar üretiminde kullanılan piroliz ünitesinin gösterimi 12
Şekil 3.2 Biyoçar üretimi için özel imal edilmiş kabın kül fırını 12
Şekil 4.1 Sulama oranlarına göre bitki su tüketimi (ET).....20
Şekil 4.2 Çim bitkileri verim tepki faktörleri.....20
Şekil 4.3 Çim bitkilerinin uygulanan farklı maddeler altında yeşil ot verim tepki faktörleri 22
Şekil 4.4 Çim bitkilerinin uygulanan farklı maddeler altında kuru ot verim tepki faktörleri 23
Şekil 4.5 Çim türlerine göre yeşil ot verim tepki faktörü.....24
Şekil 4.6 Çim türlerine göre kuru ot verim tepki faktörü.....25
Şekil 4.7 Uygulamalara ilişkin su kullanım etkinliği 26

ÖZET

Bu çalışmada, dünya üzerinde küresel ısınma etkisi ile büyük bir sorun haline gelen kuraklık koşullarının oluşturduğu su kısıtlılığına dayanabilecek çim alanlar oluşturulabilmek amaçlamaktadır. Çim türü olarak serin iklim türleri arasında yer alan *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L., *Festuca arundinaceae* Schreb. olmak üzere dört farklı çim türü kullanılmıştır. Bitkiye uygulanacak sulama miktarının kontrollü olabilmesi için yağış ihtimaline karşılık kapalı alan tercih edilmiştir. Çalışma 3 farklı sulama konusunu (normal, kısıtlı ve çok kısıtlı), iki biyoçar uygulamasını (%0 ve %2 Biyoçar BC) ve iki silisyum uygulamasını (0 ve 200 ppm Si) ele almaktadır. Çalışma su isteği düşük çim alan tasarımı sağlayabilmenin yanı sıra çevreye zararlı olan ve her geçen gün miktarı artan atık su arıtma çamurunun torf yerine kullanılabilmesi ve atık çamurunun biochara (biyoçar) dönüştürülerek bertaraf edilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca çalışmada uygulamalarım ağır metal alımına etkileri de incelenmiştir. Çalışma sonucunda, çim bitkilerinin gelişimini iyileştirmede biyoçar ve silisyum uygulamalarının faydalı olabileceğini göstermiştir. Yine sulama imkanının kısıtlı olduğu alanlarda biyoçar ve silisyum uygulamaları ile daha iyi bir bitki gelişiminin sağlanabileceği saptanmıştır. Ayrıca silisyum ve biyoçar uygulamalarının, ağır metal riskini arttırmadığı, hem farklı çim türlerinin hem de farklı sulama rejimlerinin ağır metal alımında önemli rol oynadığı, ancak hiçbir koşulda toksik bir birikimin gerçekleşmediği ortaya konmuştur. Özellikle arıtma çamurundan üretilen biyoçarın güvenli bir şekilde kullanılabileceğini belirleyen bu çalışma atık bazlı biyoçarın çevre dostu yönetim stratejilerinde ve peyzaj uygulamalarında güvenle değerlendirilebileceğini kanıtladığı için önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çim alan, kısıtlı sulama, silisyum, biyoçar.

ABSTRACT

This study aims to create grass areas that can withstand water scarcity caused by drought conditions, which have become a major problem worldwide due to the effects of global warming. Four different grass species were used: Lolium perenne L., Poa pratensis L., Festuca rubra L., and Festuca arundinacea Schreb., all of which are cool-season grasses. An enclosed area was chosen to control the amount of water applied to the plants in case of rainfall. The study addressed three different irrigation levels (normal, limited, and very limited), two biochar applications (0% and 2% Biochar BC), and two silicon applications (0 and 200 ppm Si). The study aims to provide a low water demand turf design, as well as to contribute to the disposal of wastewater treatment sludge, which is harmful to the environment and increasing in quantity every day, by using it instead of peat and converting the waste sludge into biochar. The study also examined the effects of the applications on heavy metal uptake. The results showed that biochar and silicon applications could be beneficial in improving turfgrass development. It was also determined that better plant development could be achieved with biochar and silicon applications in areas with limited irrigation capacity. Additionally, it has been demonstrated that silicon and biochar applications do not increase heavy metal risk, that both different grass types and different irrigation regimes play a significant role in heavy metal uptake, but that toxic accumulation does not occur under any conditions. This study, which determines that biochar produced from sewage sludge can be used safely, is important because it proves that waste-based biochar can be safely evaluated in environmentally friendly management strategies and landscaping applications.

Key words: Lawn area, limited irrigation, silicon, biochar.

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu, kentleşmenin de hızla artmasına neden olmuştur. Kentleşmenin hızlı artışı ise çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir (Ay, 2009). İnsanlar, tüm kaynakları hiç tükenmeyecekmiş gibi savurganca kullanmış ve doğanın kendini yenileyemez hale gelmesine sebep olmuşlardır. Yanlış kullanılan doğal kaynakların çevreye verdiği zararın boyutu anlaşıldığında, doğanın tamirinin ve eski haline dönebilmesinin uzun bir süreç alacağı, bugünün sorunlarının bundan sonraki nesilleri de etkileyeceğinin bilincine varılmıştır. Bu bilinç dahilinde en kısa sürede çözüm aranması ve bu çözümün hızla hayata geçirilmesi gerekliliği saptanmıştır (Atıl ve ark., 2005). Çözüm önerisi bulmaya mecbur kalmamızı sağlayan, hızlı nüfus artışı, teknoloji ve endüstrinin gelişmesi, düzensiz ve yanlış kentleşme, doğal kaynakların kontrolsüzce yok edilmesi gibi sorunlar kentsel ve kırsal alanlardaki yeşil alan gereksiniminin artmasını da beraberinde getirmiştir (Avcıoğlu, 2014). Bahsedilen tüm bu sorunların ve toplumun bilinç düzeyinin artması sonucu yeşil alana duyulan ihtiyaç ve önem yüksek bir ivme ile artmaktadır.

Son yıllarda, büyük bir sorun haline gelen küresel ısınma, beraberinde getirdiği sorunlar nedeni ile peyzaj tasarımı yaparken de dikkat edilmesi ve önlem alınması gereken en önemli unsurlardan biri haline gelmiştir. Küresel ısınmanın beraberinde getirdiği en önemli sorunlar şüphesiz kuraklık, çölleşme ve erozyondur (Koçer vd., 2009).

Kuraklığın hâkim olduğu alanlarda yeterli düzeyde önlem alınmazsa çölleşme kaçınılmazdır (Ürgenç, 1998). Kuraklığın görülmesi ile çevre ve mekân kalitesinin iyileştirilmesini, bozulan çevrenin onarımını ilk hedef olarak gören peyzaj tasarımlarının yerini, kuraklığa dayanıklı bitkisel uygulamalar ve akılcı su kullanımını ön planda tutan peyzaj tasarımları almıştır.

Flora ve faunanın korunması, kirliliğin önlenmesi, çevre kalitesinin artırılması gibi peyzaj mimarlığı için en önemli hedefler bile özellikle kurak bölgelerde su kaynaklarının korunması ve suyun tasarruflu kullanılması amacının gerisinde kalmıştır. Bu amaç doğrultusunda Xeriscape (kurakçıl peyzaj) terimi ortaya çıkmıştır. Yunanca kurak anlamı taşıyan ‘’xeros’’ ve İngilizce’de peyzaj kelimesinin karşılığı olan ‘’landscape’’ kelimelerinden, kurakçıl peyzaj anlamı taşıyan ‘’xeriscape’’ kelimesi türetilmiştir (Wilson ve Feucht, 2007). Kurakçıl peyzaj kavramı ilk kez, Amerika Birleşik Devletleri’nin Denver eyaleti Colorado kentinde, Colorado Devlet Üniversitesi ve Denver Su Departmanı tarafından, peyzaj düzenlemesi yaparken su koruma ve tasarrufu hedeflenerek ortaya çıkmıştır. Xeriscape kavramı Çorbacı ve ark. (2011) tarafından, suyun ve

enerjinin etkili kullanıldığı peyzaj çalışmaları ve çevrenin korunduğu, su tüketiminin en aza indirildiği kaliteli peyzaj yaratma tekniği olarak tanımlanmıştır. Kurakçıl peyzaj sadece suyun az kullanımını değil renkli ve güzel peyzaj oluşturmayı, enerjiden ve paradan tasarruf ederek daha sürdürülebilir peyzaj tasarımları yapmayı amaçlar (Detweiler ve ark., 2005; Welsh ve Welch, 2007). Kurakçıl peyzajın sağladığı faydalar bu kadarla kalmaz. Kurakçıl peyzaj, su tasarrufunun yanı sıra, yapılan peyzaj tasarımlarının kuraklık ve su kıtlığı durumlarında daha dayanıklı hale getirilmesi ve ekolojik olarak daha uygun çözümlerle yüksek kaliteli peyzaj alanları oluşturulmasını, daha az bakım masraflı peyzaj tasarımları yapılmasını sağlar (Welsh, 2000). Daha kapsamlı ifade edilecek olursa, kurakçıl peyzaj, su kaynaklarının korunması ve su tasarrufu, biyolojik çeşitliliğin korunması, bitkiler ve hayvanlar için habitat, bakım giderlerinin azaltılması, erozyonun önlenmesi, yeraltı sularının kirlenmesini önleme, toprak iyileştirme, kimyasal kullanımını azaltma, enerji, emek ve zaman tasarrufu sağlama, tasarım çeşitliliği, görsel çevre kalitesini artırma gibi konuların tamamını barındırır (Birişçi ve ark., 2017).

Kurakçıl peyzajda;

- Uygun planlama ve tasarım,
- Toprak ıslahı,
- Uygun bitki seçimi,
- Sürdürülebilir çim alanlar,
- Etkin sulama,
- Malç kullanımı,
- Uygun ve sürdürülebilir bakım faaliyetleri olmak üzere 7 ilke benimsenmiştir (Welsh ve Welch, 2007). Bunlardan uygun bitki türlerinin seçimi ve kuraklığa dayanıklı çim alanların oluşturulmasının etkin sulamadan sonra en önemli ilkeler olduğu düşünülmektedir.

Poaceae familyasından, genellikle toprak yüzeyini örten, homojen bir görüntüye sahip ve biçilerek kısa boyda tutulan, kültürel yolla oluşturulan yeşil yüzeylere çim alan denilir (Orçun, 1969). Çim alanlar, rekreasyon alanları için zemin oluşturur, toprağı tutar, kentsel mekânlara estetik katkı sağlar, toz ve güneş ışınlarını absorbe eder, toz ve toprak zerrelerinin havaya karışmasını önler, canlı görünüş sağlar, kitle ve yüzey arasında uyumlu geçiş sağlar ve dinlendirici etki sunar (Küçükbaş ve ark., 1997).

Kentsel alanlarda gün geçtikçe artan beton yüzeyi alanına karşılık, çim alan kullanımı, estetik ve işlevsel özellikleri ile tercihi yüksek çözüm önerisi olmaktadır (Gül ve Avcıoğlu, 1999). Fakat çim yüzeylerin konumu ve boyutu, tüketilecek su miktarı konusunda oldukça etkilidir. Çim alanlar, diğer birçok bitkiye kıyasla daha fazla su tüketir ve daha çok bakıma ihtiyaç duyar. Bu yüzden çim alan tesis edilirken su tüketimi göz önünde bulundurularak, planlı tasarım yapmak gerekir. Su tasarrufu için, çim kullanımı zorunlu değilse çim görünümlü kuraklığa dayanıklı farklı bitkiler kullanmak, çim alanı mümkün olduğunca az alanda kullanmak, mümkün olduğunca az parça olarak kullanmak gibi çözüm önerileri geliştirilmiştir. Her ne kadar alınan önlemler etkili olsa da oluşturulan çim alanlar için daha az su tüketimini hedefleyen yöntemlerin geliştirilmesi zorunlu hale gelmektedir.

Yapılan bu projenin ulusal kazanım bakımından önemi; su isteği düşük çim alan tasarımı sağlayabilmenin yanı sıra çevreye zararlı olan ve her geçen gün miktarı artan atık su arıtma çamurunun torf yerine kullanılabilmesi ve atık çamurunun biochara (biyoçar) dönüştürülerek bertaraf edilmesine katkı sağlamaktır. Artan nüfus ile hızlı ve plansız büyüyen kentleşme sonucu evsel ve endüstriyel kökenli atık su arıtma çamuru miktarı her geçen gün artmaktadır. 2018 yılında ülkemizde, 319 bin ton (kuru madde bazında) atık su arıtma çamuru elde edilmiştir (TÜİK, 2018). Atık çamurunun organik madde miktarının fazla olması yanında kirletici madde miktarı da yüksektir. Ayrıca atık çamuru, insan sağlığı için büyük tehdit oluşturacak boyutta çevre kirliliğine neden olur. Bu yüzden atık çamuru miktarının artışı büyük bir sorun haline gelmiştir. Atık çamurunun zararlarının ortadan kaldırılması ve tekrar kullanıma kazandırılması büyük önem taşımaktadır (Hanay ve Hasar, 2000; Topcuoğlu ve ark., 2003).

Arıtma çamurunun, tarımsal amaçla kullanımı, bu materyalin ekonomik ve çevreye zararsız olarak tekrar kullanımına olanak sağlayacaktır. Makro ve mikro besin elementlerince zengin olan ve %50-70 oranında organik madde içeren arıtma çamurunun bitki yetiştiriciliğinde kullanımı, gübre kaynağı görevi de üstlendiği için, üretimin ekonomik oluşuna olanak sağlayacaktır (Grigatti, 2007). Arıtma çamuru, bitkiler için gerekli olan tüm elementleri içermektedir (Linden ve ark., 1983). Aynı zamanda arıtma çamurunun besin değeri organik kompost ve ahır gübresinin besin değerleri ile yakın değere sahiptir (Tabatabai ve Frankerberger,1979; Sommers,1997). Birçok ülkede tarımsal alanlarda, orman alanlarında, peyzaj tasarımlarında vb. arıtma çamuru kullanımı yaygınlaşmıştır (Küçükhemek ve ark., 2005). Tüm bu olumlu özelliklerinin yanı sıra birçok kirletici ve patojen içeren arıtma çamurunun önlem alınmadan yetiştirme ortamı olarak kullanımı ciddi sağlık sorunlarını ve çevresel sorunları beraberinde getirir (Topcuoğlu ve ark., 2003). Atık çamurunun belirtilen zararlarına

karşı önlem alınarak çevreye ve sağlığa zarar vermeyecek forma dönüştürülmesi, atık çamurunun peyzaj alanlarında başarılı bir şekilde kullanımına olanak sağlayacaktır (Tolay ve ark., 2000). Oleszcuk ve ark. (2012) atık çamurunun zararlı etkilerinin biyoçar kullanılarak azaltılabileceğini veya ortadan kaldırılabileceğini öne sürmüşlerdir.

Yapılan çalışmada; çim alan tesisi yapılırken su kısıtına dayanımı artırmak için biyoçar ve silisyum kullanılmıştır. Kullanılan biyoçar atık çamurundan yapılmıştır, her geçen gün miktarı artan ve çevreye zararı büyük olan atık çamurunun zararları bertaraf edilerek, hem verilecek gübre miktarından tasarruf sağlanmış, hem de biyoçarın diğer faydalarından yararlanılarak daha kaliteli çim alan tesisi mümkün olmuştur. Projenin asıl amacı estetik ve işlevsel özellikleri nedeni ile kullanımı tercih edilen fakat su tüketimi çok yüksek olduğu için kullanımı kısıtlanan çim alanların istenilen ölçüde kullanılabilmesi için çözüm önerisi bulmaktır. Bu kapsamda çim alanlarda daha az su tüketimi sağlamak için biyoçar kullanımının yanı sıra, bitki büyüme ve gelişimine katkı sağlaması ve bitkilerin yüksek sıcaklıkta zarar görmesini önlemesi gibi özellikleri nedeni ile Silisyum (Si) uygulamasının da projeye dahil edilmesi uygun bulunmuştur (Sripanyakorn ve ark., 2005, Ma, 2004).

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

2.1 Çim Alanlar ve Su Tüketimleri

Doğanın bilinçsizce kullanımı sonucu ortaya çıkan sorunların etkisi ile insanların yeşil alan konusundaki bilinç düzeyleri artmıştır. Artan bilinç düzeyi ile yeşil alana verilen önem ve yeşil alan miktarı da artırılmaya çalışılmaktadır. Yeşil alan kapsamına giren, estetik ve işlevsel özellikleri ile ön planda olan çim alanların gelecek zamanlarda daha fazla artacağı düşünülmektedir. Su tüketimi yüksek olan çim alanların, su ihtiyaçlarının bitkilerin de istemediği klorlu şehir şebekelerinden sağlanması, maliyetli olan şebeke sularının sulama için bilinçsizce kullanımı, su kaynaklarının sürdürülebilirlik ilkesi dahilinde kullanımı ile çelişmektedir. Kuraklığın arttığı günümüz koşullarında su tasarrufu daha da önem kazanmaktadır (Şahin ve Kara, 2005). Bununla birlikte çim alan yöneticileri arasında su tasarrufuna ilgi büyüktür. Ülkemizin özellikle turistlik bölgelerdeki işletmelere ait çim ve golf sahalarının sulanması ve bakımı, işletmelerin önemli bir harcama unsurunu oluşturmaktadır. Diğer taraftan küresel iklim değişikliği ve sulama suyundaki azalış, özellikle çim alan yöneticilerini sulama suyunda tasarruf yapıcı önlemleri almaya zorlamaktadır. Çim alanların, kök bölgesi yeterince nemli olmalıdır.

Çimlenmenin oluşabilmesi, gübre ve ilâçların etkisini gösterebilmesi ve çim türlerinin istenilen kalite özelliklerini sağlayabilmesi için yeterli sulama çok önemlidir (Turgeon, 1980).

Belirli bir verimi sağlayabilmek için ihtiyaç duyulan yağış ve sulama suyu toplamı, bitki su gereksinimini gösterir. Çim alanların su gereksinimi, verimden çok, istenilen kalite ve performansın sağlanması için gerekli su miktarını ifade eder. Çim alanlarda sulamanın önceliği, kurak iklimlerde çimin canlılığını sürdürebilmesi için zorunlu olan düzeyden, nemli iklimlerde istenilen renk ve kalitenin sürdürülmesi için gereken düzeye kadar değişebilmektedir (Kneebone vd., 1992). Çim alanlar için renk özelliği önemli bir kriterdir. Yeşil alan vejetasyonlarının canlı, tek düze, göze hoş gelen ve çekici bir yeşil tonunda olması genellikle tüm bireylerin arzuladığı niteliklerdir (Wehner ve Martin, 1989; Goatley ve ark., 1994).

Çimlerde büyüme formu da çok önemli bir kriterdir (Brown, 1979). Örneğin, çimler için yumak (festuca), stolon ve rizom yapılarına göre, bitkilerin oluşturduğu vejetasyonun toprak yüzeyini kaplama derecesi çok farklı olabilmektedir (Avcıoğlu, 2014). Yapılan çalışmalarda, çayır ve mera bitkilerinin kök, kök tacı, rizom vb. tüm toprak altı organları 'kök kitlesini' tanımlamada kullanılmış, buğdaygil vejetasyonlarındaki kök kitle miktarının kuru madde olarak 100-4500 kg/da arasında değişmekle beraber ortalama 400-800 kg/da olduğu ortaya konmuştur (Gençkan, 1983). Ayrıca, buğdaygillerin, kök derinliği 120-200 cm olsa da etkin kök derinliğinin 20 cm'lik üst katmanda, hatta %87'sinin ilk 5 cm'de olduğu (Yılmaz ve Avcıoğlu, 2003), bitki yoğunluğunun artması ile kök derinliğinin gerilediği, bitki örtüsünün yaşlanması ile toprakta kök kitlesi miktarının arttığı belirlenmiştir (Gençkan, 1983).

Çim bitkilerinde kuraklık koşulları, büyüme hızını, su tüketimini ve görsel kaliteyi etkiler. Kuraklık koşullarında, kuraklık belirtilerinin ortaya çıkmasını geciktiren etmenler su tüketiminin de azalmasına neden olur (Gold vd., 1987).

Çim alanların su tüketimi ile ilgili yapılmış olan pek çok çalışma mevcuttur. Yapılan çalışmalara göre; sıcak iklim çim türlerinden; Köpekdişi ayrığı "Bermuda grass" (*Cynodon dactylon* L.) ve Japon çimi "Zoysia grass" (*Zoysia japonica* Steud.) çeşitlerinin ortalama günlük su tüketimleri 1977-1979 yılları arasında lizimetrelerde yapılan çalışmalarda sırası ile 7,6 mm ve 7,1 mm, Bermuda çeşidinin, Arizona'da 26 Kasım 1979-25 Ekim 1980 arası lizimetrelerde yapılan çalışmada 6,4 mm, tek yıllık salkım otunun 4,9 mm, çok yıllık çimin 8,9 mm, serin iklim çim karışımının 1 Nisan-31 Temmuz tarihleri arasında 7,7 mm olduğu belirlenmiştir (Kneebone ve Pepper (1982), Kneebone ve Pepper (1984), Fry ve Butler (1989), Phene vd. (1996). Verilen

bu bilgilere göre su tüketimi miktarında farklılıklar olduğu açıkça gözlemlenmektedir. Çim yüzeylerinin su tüketimindeki farklılıkların, çim alanda kullanılan tür ve çeşide, bitki yoğunluğuna, iklim koşullarına, kültürel işlemlere ve sulama programına bağlı olduğu söylenebilir (Kneebone ve Pepper, 1982; Aronson vd., 1987; Brown, 2003). Çim alanların en önemli ekolojik istekleri sudur. İhtiyaç duyulan su miktarı sağlanmadığında, çim alandan beklenen kalite ve verimin sağlanması mümkün değildir. Çim bitkileri yeteri kadar su alamadığında kuraklık stresine girerler. Çimlenme veya ilk gelişme döneminde kuraklık etkileri birim alanda istenilen bitki sayısına ulaşılmasına engel olur, bu sorunun giderilmesi için bu alanlarda su ihtiyacı düşük çeşitlerin seçimi çözüm olabilir (Dhanda ve ark. (2004).

Peyzaj tasarımlarında genellikle sıcak iklim çim türlerinden; Bermuda grass (*Cynodon dactylon* L.) ve Zoysia grass (*Zoysia japonica* Steud.) ile serin iklim çim türlerinden; çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.), çayır salkımotu (*Poa pratensis* L.), kırmızı yumak (*Festuca rubra* L.) ve kamışsı yumak (*Festuca arundinaceae* Schreb.) gibi çim türlerinden oluşan karışımlar kullanılmaktadır (Avcıoğlu 2014). *Lolium* türlerinin belirli bir seviyeye kadar kuraklık koşullarına dirençli olduğu, *Festuca* türlerinin daha hassas olup -1.2 MPa kuraklık koşullarında çimlenme olmadığı, *Poa pratensis* çeşidinde ise -0.6 MPa ve -1.2 MPa uygulamasında çimlenmenin olmadığı belirlenmiştir (Nizam, 2011; Rouhi ve ark. 2011; Borawska-Jarmułowicz ve ark. 2017). Son yıllarda özellikle *Lolium* ve *Festuca* cinsine ait tür ve çeşitlerde sıcak ve kurağa dayanıklılık açısından yoğun ıslah çalışmaları yapılmaktadır. Islah çalışmaları sonucunda tescil edilen yeni çeşitlerde, özellikle sıcağa dayanıklılığın artırıldığı da bilinmektedir (Avcıoğlu 2014).

2.2 Biyoçar

Bitkisel ve hayvansal kökenli biyokütlenin 250 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, havasız veya az havası olan ortamda yakılmasıyla üretilen biyolojik kömüre biyoçar denir (Karhu ve ark., 2011). Bitki verimi ve işlevini artıran biyoçar aynı zamanda atmosferik karbonu da azaltır (Sohi ve ark., 2010). Biyoçarın karbon stabilitesi ve su tutma kapasitesinin yüksek, aynı zamanda toprak düzenleyici olduğunu ve besin elementi döngüsüne katkı sağladığı yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Sigua ve ark., 2016; Tag ve ark., 2016; Githinji, 2014). Negatif yüklü olan biyoçar, besin elementlerinin ve suyun tutumunu sağlar (Conte ve ark., 2013). Biyoçar toprak kökenli patojenleri baskılar, fitotoksit organik molekülleri absorbe eder ve böylece bitki gelişimine katkı sağlar (Eo ve ark.,2018; Oleszczuk ve ark., 2012).

Biyoçarın tarım arazilerinde kullanımının sera gazlarının atmosfere geçişini azaltması ve atmosferdeki karbonun toprakta zenginleştirilmesini sağlaması nedeni ile küresel ısınmanın azaltılmasına önemli katkı yapacağına inanılmaktadır (Günal ve Erdem, 2021).

Bu genel özelliği yanında, adsorpsiyon yeteneği ile ağır metal gibi toksik maddelerin etkisinin azaltılmasında, immobilizasyon yeteneği ile mikroorganizmaların sistemde kalmasında, tamponlama yeteneği ile sistemin pH'sının nötr koşulda tutulmasında önemli rol almaktadır (Güneç ve ark. 2023).

Biyoçar ilâve edilmiş arıtma çamurunun süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılabilirliğini test etmek amacıyla Vural (2022) tarafından yürütülen bir çalışmada, sadece atık çamurundan oluşan ortamdaki bitkilere kıyasla biyoçar ilâve edilen ortamda bitkilerin daha iyi gelişme gösterdikleri saptanmıştır. Benzer şekilde biyoçar ilâve edilmiş atık çamuru ortamının bitki gelişimini pozitif yönde etkilediği Vural ve Yıldız (2022) tarafından da bildirilmiştir. Zhang ve ark (2014), *Calathea insignis* bitkisini yalnızca yeşil atık kompostu içeren ortamda ve biyoçar ilâveli yeşil atık kompostu içeren ortamda yetiştirdiklerinde, biyoçarın, yetiştirme ortamının kalitesini ve bitki gelişimini önemli derecede iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Bu araştırıcılar biyoçarın sürgün taze ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, kök taze ağırlığı, kök kuru ağırlığı, bitki boyu, taç genişliği, yaprak sayısı ve toplam kök uzunluğunu sırasıyla %57.3, 79.7, 64.5, 82.0, 45.2, 89.1, 31.1 ve 94.1 oranında; bitki yapraklarındaki toplam nitrojen, toplam fosfor, toplam potasyum ve toplam klorofil içeriğini ise sırasıyla %66.4, 55.8, 72.1 ve 47.8 oranında artırdığını bulmuşlardır.

Álvarez ve ark (2018) saksıda süs bitkisi yetiştiriciliğinde, ortam olarak çoğunlukla torf kullanıldığını, torfun elde edildiği turba bataklıklarının kurumasının gelecekte bu amaçla kullanılabilecek yeni materyal arayışını zorunlu halde getirdiğine dikkat çekerek, saksı toprağına biyoçar ve solucan gübresi ilâve edilerek torf kullanımının azaltılabileceğini bildirmişlerdir. Bu amaçla yaptıkları çalışma sonucunda saksı toprağına torfla birlikte %30 solucan güresi ve %12 biyoçar ilâve ederek ticari kalitede sarduna ve petunya yetiştirilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Yetiştirime ortamında bulunan ağır metallerin bitki gelişimini sınırlandırdığı bilinmektedir. Moradi ve ark (2019), farklı oranda kadmiyum ve biyoçar uygulamalarının safran bitkisinin gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarından, artan kadmiyum dozlarının bitki gelişimini önemli derecede azalttığını, bu olumsuz etkinin biyoçar uygulaması ile önlenebildiğini ortaya koymuşlardır.

2.3 Silisyum

Çim alan bitkileri makro besin elementlerinden en fazla Azot (N), Fosfor (P) ve Potasyum (K)'a ihtiyaç duyarlar ve bu miktar ülkemiz koşullarında ortalama yaklaşık 25:15:15 kg/da/yıl kadardır. Bitki biyolojisindeki rolü son dönemlere kadar çok anlaşılmayan silisyum elementi, bitki gelişimi için mutlak gerekli elementler içerisinde yer almamasına rağmen, bitkiler için oldukça yararlı bir elementtir (Epstein, 1999, Meunier,2003). Çoğu bitkide, Si konsantrasyonu miktarı, magnezyum (Mg), kükürt (S) ve kalsiyum (Ca) miktarı ile benzer miktarda hatta bazen Azot, Fosfor ve Potasyum kadar yüksek olur (Casey ve ark., 2003). Yapılan çalışmalar, silisyumun, tuz stresi ve kuraklığa (Gong ve ark., 2005) karşı bitkinin direncini/toleransını artırdığını göstermiştir.

Silisyumun, bir besin elementi olarak rol alabildiği ve bitkide gelişmeyi artırıcı etkide bulunduğu, yeterince silisyum alan bitkilerin su kaybının azaldığı, ayrıca silisyum birikmesinin mantar hastalıklarına ve böcek zararlarına karşı dayanıklılığı artırdığı, bitki gövdesini kuvvetlendirdiği bilinmektedir. Bunların yanı sıra, silisyum aşırı biriktirildiği zaman bitkiye zarar vermeyen tek elementtir (Ma be ark., 2001). Bunların dışında silisyum; rüzgâr zararı, düşük ve yüksek ışık yoğunluğu, don, aşırı radyasyon gibi stres şartlarına karşı da bitkiyi korur.

Silisyum, insan vücudunun normal gelişimi ve beslenmesi için gerekli olan 25 element arasında yer almakta ve en çok bulunan üçüncü elementtir (Sripanyakorn ve ark., 2005). Yüksek transpirasyon şartlarında, silisyum selüloz membranı şeklinde ksilemin epidermal hücre dokularında birikerek, transpirasyonu azaltır ve su kaybını önler. Bununla beraber aşırı transpirasyon sebebi ile ksilem demetlerinde oluşacak basınca engel olur (Ma, 2004). Si elementi yaprakların dik durmasını sağladığı için, ışıktan daha fazla yararlanılmasını sağlar (Hamayun 2010). Yapılan bir çalışmada, silisyumlu ve silisyumsuz çeltik fideleri farklı seviyelerde γ-ışınına maruz bırakılmış ve +Si fidelerin diğer fidelere göre daha iyi geliştikleri ve çok daha az ağırlık kaybı gösterdikleri ortaya konmuştur (Takahashi, 1995).

Toprakta aşırı tuz bulunması durumunda, toprağa verilen silisyum Na-silikat oluşturmak suretiyle bitki tarafından alınan Na miktarını azaltarak bitkilerde oluşacak tuz zararını önler. Bu sayede, fotosentetik aktiviteyi artırarak, K/Na oranını ve enzim aktivitesi artırır ayrıca ksilemde çözünebilir maddelerin konsantrasyonu artar (Matichenkov ve Bocharnikova 2001).

Fauteux ve ark (2005) silisyumun bitki hastalıklarının meydana gelme sıklığı ve şiddetini azaltmadaki olumlu etkisini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Silisyum uygulamasının bazı bitkilerde belirli fungal hastalıkların etkilerini azalttığı belirlenmiştir. Silisyumun etkisini azalttığı bazı hastalıklar; buğdayda *Septoria nodorum* (Rodgers-Gray), çeltikte *Magnoporte grisea* (Seebol ve ark., 2000), gül bitkisinde *Diplocarpen rosae* (Gillman ve ark., 2003), hıyarda *Colletotrichum orbiculare* (Sun ve ark., 2002) arpada *Alternaria spp.* (Kunoh ve Ishiazaki, 1975)'dir.

Silisyum birçok doğal bileşiğin yapısına giren bir maddedir. Si bileşikleri arasında en önemlileri silis ve silikatlardır (Sumner, 2001). Gübre olarak kullanılan silisyum formları magnezyum silikat ($MgSiO_3$), kalsiyum silikat ($CaSiO_3$), potasyum silikat (K_2SiO_3), monosilisik acid (H_4SiO_4) veya silis asidi [$Si(OH)_4$] kullanılabilir (Horuz, 2016).Silisyumlu gübre kullanımının bitkilerde dolaylı veya direkt verim artışı sağladığını gösteren pek çok çalışma mevcuttur. Yapılan çalışmalarda, silisyumun dane ağırlığını artırdığı, tuzların zararlı etkilerini azalttığı, bitkide yıpranma zararını azalttığı, çimlerin gübrelenmeyenlere göre yaprak kalite ve renginde artış olduğu, kuraklık stresine daha iyi dayandıkları ve yaprak yoğunluğunun da %23,5 oranında arttığı belirlenmiştir (Mauad ve ark. 2003; Horuz ve Korkmaz, 2012; Takahashi ve ark., 1990; Trenholm ve ark. 2004).

Silisyum kullanımının, yüksek sıcaklıkta bitkilerin zarar görmesini önlemesi ve bitki büyüme ve gelişimine katkı sağlaması gibi özellikleri sebebiyle, bu çalışmada kısıtlı sulama koşullarına dayanıklı çim alan tesisi için katkılarını ortaya koymak amaçlanmıştır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Gereç

3.1.1 Çalışmada Kullanılan Toprak ve Arıtma Çamuru Özellikleri

Sera denemesinde Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Arazisinden temin edilen toprak kullanılmıştır. Çalışma toprağına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Sera denemesinde kullanılacak toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

pH	8,010	P (mg/kg)	2,350
Tuz (%)	0,017	K (mg/kg)	167,0
Organik Madde (%)	0,890	Zn (mg/kg)	0,380
Kireç %	11,80	Fe (mg/kg)	6,650
Tekstür	SL	Solma noktası (%)	11,30
Tarla Kapasitesi (%)	20,80	Yarayışlı Su (%)	9,600

Projede kapsamında kullanılan arıtma çamuru Tokat Belediyesi Atıksu Arıtma Çamuru Bertaraf Tesislerinden temin edilmiş olup, arıtma çamurunun toplam ve bitkiye yarayışlı besin elementleri ile ağır metal konsantrasyonları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Atık çamurunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Besin Elementleri	Toplam konsantrasyon (mg/kg)	Bitkiye yarayışlı konsantrasyon ve bitki için yeterlilik durumu (mg/kg)*
N		
P	5732	73,4 (Fazla)
K	4792	275 (Yeterli)
Mg	18375	1874 (Fazla)
S	4529	2120 (Çok Fazla)
Ca	58308	7845 (Fazla)
Fe	38676	150 (Çok Fazla)
Zn	189	86 (Çok Fazla)
Mn	790	54,7 (Çok Fazla)
Cu	161	32,2 (Çok Fazla)
B	53	18,3 (Fazla)
pH	6,70 (Nötr)	
Tuz (%)	0,306 (Orta Tuzlu)	
Kireç (%)	6,1 (Orta kireçli)	
Organik madde (%)	6,45 (Yüksek)	
Ağır Metaller	**Toplam konsantrasyon (mg/kg)**	**Bitki tarafından alınabilir konsantrasyon ve bitki için risk durumu (mg/kg)****
Ni	83,5	7,12 (Orta Riskli)
Al	18545	9,86 (Orta Riskli)
Cd	1,0	0,12 (Risk yok)
Co	9,85	0,62 (Risk yok)
Cr	104	0,08 (Risk yok)
Pb	47,7	0,64 (Risk yok)

* Sparks ve ark., (2020). Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods'a göre eğerlendirilmiştir.
**86/278/EEC - Arıtma Çamuru Direktifinde toprak ve çamur için belirtilmiş olan kriterlere göre değerlendirilmiştir.

3.1.2 Çalışmada Kullanılan Bitki Materyali

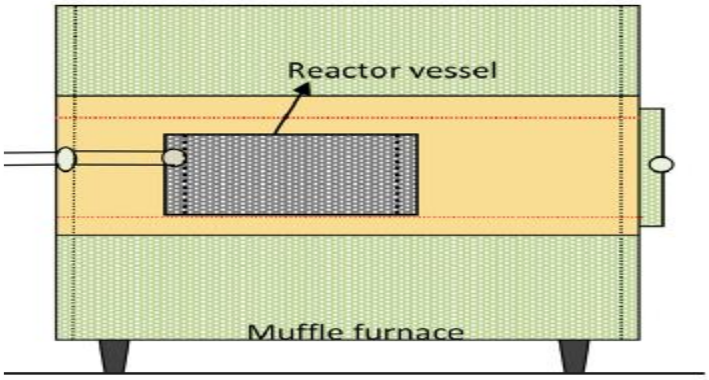
Çalışmada, *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L., *Festuca arundinaceae* Schreb) omak üzere dört farklı çim türü kullanılmıştır. Çim türleri serin iklim çim türleri içerisinde en çok kullanılan türlerden seçilmiştir. Proje verilerinin sağlıklı şekilde elde edilebilmesi için tohumlar kasalara ayrı ayrı ekilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Biyoçar Üretimi

Piroliz işlemi ile üretilen biyoçar materyallerinin özellikleri, üretilen hammaddenin doğası, piroliz koşulları, piroliz sıcaklığı, piroliz süresi gibi birçok özelliğe bağlı olduğundan dolayı, bugüne kadar yapılan çalışmalarda kullanılacak biyoçarın sıcaklığının hangi derecede olması konusunda kesin bir yargıya varılmamıştır. Ancak yapılan çalışmalarda, sıcaklığın 400 ile 700 °C arasında değiştiği piroliz koşullarında üretilen biyoçarların sıcaklık artışı ile birlikte çoklu sıkıştırılmış aromatik yapıya sahip oldukları ve daha yüksek karbon içerdikleri rapor edilmiştir. Ancak bu materyallerin dehidrate olmaları ve dekarboksilasyon olayları nedeni ile iyon değişiminde aktif olan fonksiyonel gruplar açısından yetersiz oldukları ifade edilmiştir (Glaser ve ark., 2002; Baldock ve Smernick, 2002; Hammes ve ark., 2006). Ancak bu biyoçarların besin elementlerini tutma potansiyellerinin zayıf olacağı da belirtilmiştir (Novak ve ark. 2009). Bununla birlikte, düşük sıcaklıklarda üretilen (250 ile 400 °C) biyoçar materyallerinin ise veriminin (hammadde/biyoçar ağırlığı), daha yüksek C=O ve C-H fonksiyonel gruplarına sahip olduğu ve bunlarında oksidasyon sonrası besin elementlerinin tutulmasını sağlayacak yüzeyleri oluşturacağı ifade edilmiştir (Glaser ve ark. 2002). Bu konuda oldukça kapsamlı bir araştırma yapan Novak ve ark., (2009) da benzer açıklamalar ile birlikte yüksek sıcaklıkta üretilen biyoçar materyallerinin daha yüksek yüzey alanlarının olduğunu, pH'sının daha yüksek olduğunu ve kül miktarının arttığı bilgisini paylaşmışlardır. Bu değerlendirmeler ile birlikte, biyoçar uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda piroliz sıcaklığı 500 °C seçildiğinden bu çalışmada da biyoçar üretimi için piroliz sıcaklığı 500 °C olarak belirlenmiştir.

Proje çalışmasında evsel atık arıtma çamurundan elde edilen biyoçar kullanılmıştır. Arıtma çamuru Tokat Belediyesi'ne ait depolama alanından temin edilmiştir. Alınan materyal kurutulup öğütüldükten sonra biyoçar ünitesinde 500 °C'de yavaş piroliz işlemine tabi tutularak biyoçar haline getirilmiştir. Piroliz işlemi kül fırınında özel hazırlanmış krom çelik kaplarda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Biyoçar üretiminde kullanılan piroliz ünitesinin gösterimi



Şekil 3.2 Biyoçar üretimi için özel imal edilmiş kabın kül fırını

3.2.2 Biyoçarın Karakterizasyonu

Elde edilen biyoçarların bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri standart yöntemler ile belirlenmiştir. Kullanılan biyoçarların, belirlenen özellikleri aşağıda verilmiştir.

Fiziksel Özellikler:

Spesifik Yüzey Alanı: Etilen Glikol Monoetilen Eter (EGME) yöntemine göre yapılmıştır (Cerato and Lutenegger, 2002).

Su Tutma Kapasitesi: Tarla kapasitesindeki nem içeriğinden, solma noktasındaki nem içeriğinin çıkarılması ile bulunmuştur (Klute,1986).

Hacim Ağırlığı: Belirli bir hacimdeki biyoçarın ağırlığı üzerinden hesaplanmıştır.

Kimyasal Özellikler:

pH: 1/2 (materyal/su) oranındaki karışımdan pH metre ile belirlenmiştir.

Katyon Değişim Kapasitesi: Amonyum Asetat yöntemine göre yapılmıştır (Sumner ve Miller, 1996).

Toplam Karbon: Kuru yakma yöntemiyle Elemental Analiz kullanılarak yapılmıştır (Tabatabai, 1994).

Toplam Azot: Kjeldahl destilasyon yöntemiyle yapılmıştır (Bremner, 1965).

Toplam Fosfor, Potasyum, Çinko, Demir: Biyoçar materyalinden 0,2 g tartılmış ve mikrodalga cihazında yaş yakma metoduna göre H_2O_2-HNO_3 asit karışımı ile yakılmış ve ICO-OES cihazında P, K, Zn, Fe ve B konsantrasyonları belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

Toplam Ağır Metal Konsantrasyonları: Yaş yakma metoduna göre yakılan biyoçar örneklerinde kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), krom (Cr), Nikel (Ni) ve alüminyum (Al) konsantraayonları ICP-OES cihazında belirlenmiş (Kacar ve İnal, 2008) ve elde edilen veriler Tablo 3.3'de sunulmuştur.

Tablo 3.3 Arıtma çamuru biyoçarın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	Birim	Değer
Spesifik yüzey alanı (SSA)	m2 g-1	24.5
Su tutma kapasitesi (WHC)	% (g su/100 g)	60.6
Hacim ağırlığı (BD)	g cm-3	0.51
pH	–	7.91
Tuz	%	0.50
C	%	32.3
KDK (CEC)	g/100g	18.0
N	%	0.48
C/N	-	67.3
P	mg/kg	9389
K	mg/kg	5203
Zn	mg/kg	274
Fe	mg/kg	63349
Cu	mg/kg	264
Mn	mg/kg	1294
Pb	mg/kg	65.8
Cd	mg/kg	1.21
Co	mg/kg	16.13
Cr	mg/kg	170.3
Ni	mg/kg	136.8
Al	mg/kg	31974
B	mg/kg	36.6

3.2.3 Saksı Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi

Deneme Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezine ait olan serada yürütülmüştür. Bitkiye uygulanacak sulama miktarının kontrollü olabilmesi için yağış ihtimaline karşılık kapalı alan tercih edilmiştir. Çalışma 3 farklı sulama konusu (normal, kısıtlı ve çok kısıtlı), iki biyoçar uygulaması (%0 ve %2 Biyoçar) iki silisyum uygulaması (0 ve 200 ppm Si) olacak şekilde Faktöriyel Düzende Tesadüf Parselleri Deneme Deseni'ne göre kurulmuştur. Çalışma 50X30 cm ebadında 30 cm derinliğinde plastik kasalarda gerçekleştirilmiştir. Yetiştirme ortamı (YO) olarak tesviyesi yapılmış toprak, tohumların üstüne kapama malzemesi olarak 1/3 torf, 1/3 toprak ve 1/3 ince kum kullanılarak hazırlanan kapak toprağı serilmiştir. Kasalar; Kontrol grubu (K-YO), YO1 (YO+%2 BC), YO2 (YO+Si), YO3 (YO+BC+Si) olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneme, her tür için 3'er tekerrür olacak şekilde kurulmuştur. Böylelikle denemede, 4 farklı yetiştirme ortamı, 4 farklı çim türü (*Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L., *Festuca arundinaceae* Schreb), 3 farklı sulama miktarı ve 3 tekerrür olacak şekilde 4x4x3x3=144 kasa kullanılmıştır. Denemede kullanılacak *Lolium perenne* L. ve *Festuca arundinaceae* bitki türlerine ait tohumlar kasalara yalın olarak 50 gr/m^2 hesabıyla, *Festuca rubra* L., bitki türüne ait tohumlar 25 gr/m^2 hesabıyla ve *Poa pratensis* L. bitki türüne ait tohumlar 15 gr/m^2 hesabıyla ekilmiştir (Avcıoğlu, 2014). Kullanılacak türleri ayrı ayrı incelemek için yetiştirme ortamı olarak hazırlanan kasalara her tür ayrı ayrı ekilmiştir. Oluşturulan çim kasaları NPK ile yıllık 25-15-15 kg/da hesabı ile sulama öncesinde gübrelenmiştir (Avcıoğlu, 2014). Gübre kaynağı olarak 15-15-15 kompoze ve %20'lik amonyum nitrat kullanılmıştır. Sera denemesinde Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Arazisinden temin edilen ve Tablo 3.1'de özellikleri verilen toprak kullanılmıştır.

Projede kapsamında biyoçar yapımında kullanılan arıtma çamuru Tokat Belediyesi Atıksu Arıtma Çamuru Bertaraf Tesislerinden temin edilmiş olup, arıtma çamurunun toplam ve bitkiye yarayışlı besin elementleri ile ağır metal konsantrasyonları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Yapılan çalışmalarda bitkiye verilmesi gereken optimum silisyum dozunun 200 ppm ve optimum biyoçar dozunun %2 olduğu düşünüldüğü için çalışmada bu dozlar denenmiştir. (Horuz ve Korkmaz (2012), Acir ve Erdem, 2020). Silisyum kaynağı olarak potasyum silikat (K_2SiO_3- %18,2 Si) kullanılmıştır.

Çim alan tesisinde bölgelere göre sıcak ve serin iklim çim bitkileri kullanılmaktadır. Sıcak iklim çim bitkileri genellikle vejetatif, serin iklim çim bitkileri ise tohum ekimiyle çoğaltılmaktadır. Hem çoğaltım yöntemlerinin farklılığı hem de araştırmanın yapıldığı bölgeye çok uygun olmaması nedeniyle sıcak iklim çim bitkileri bu çalışmada serin iklim çim bitkileriyle birlikte değerlendirmeye alınmamıştır. Çim alan tesisinde genellikle yalın ekimler değil; yumak, stolon ve rizomlu türlerden oluşan karışımların yetişme, bakım, onarım ve kullanımlarının çok daha uygun olmalarından dolayı farklı oranlardaki karışımlar tercih edilmektedir (Avcıoğlu, 2014). Ancak bu çalışmada, karışım olması halinde hangi türün nasıl tepki vereceğini belirlemek mümkün olmadığı için çeşitler yalın olarak ekilerek performansları belirlenmiş ve bu türlerden hangi karışımların oluşturulabileceği fikri de ortaya konmak istenmiştir. Çalışmanın amacı peyzaj alanlarında en çok kullanılan serin iklim çim bitkilerinin kısıtlı sulama koşullarında kaliteli ve verimli yetişmesi olduğu için, peyzaj alanlarında dünyada ve ülkemizde en çok kullanılan serin iklim çim bitkilerinden; Çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.), Çayır salkımotu (*Poa pratensis* L.), Kırmızı yumak (*Festuca rubra* L.) ve Kamışsı yumak (*Festuca arundinaceae* Schreb.) türleri kullanılmıştır.

3.2.4 Çalışmada Yapılan Ölçümler ve Analizler

Sulama konuları, çim su ihtiyacının tam karşılandığı %100 sulama (tam sulama), tam sulamaya uygulanan suyun %50'sinin ve %25'inin uygulandığı kısıtlı ve çok kısıtlı sulama konuları olmak üzere 3 sulama konusundan oluşmaktadır. Bitki su tüketimi tartım yoluyla saptanmıştır. (Ünlükara, 2015; Semiz vd. 2014). Öncelikle her bir kasaya sulamaya imkân verecek şekilde aynı ağırlıkta 4 farklı yetiştirme ortamı hazırlanmıştır. Yetiştirme ortamlarının kasalara doldurulma esnasındaki nem içeriğini saptamak için her bir ortamdan temsili 2 örnek alınarak ortam nemi saptanmıştır. Kasalara doldurulan her bir yetiştirme ortamı su ile doyurulduktan sonra üzeri buharlaşmayı önleyecek şekilde kapatılmış ve kasa altından su sızması durana kadar 1-3 gün beklenmiştir. Su sızması durduğu anda her bir ortam için kasa ağırlıkları ortalaması söz konusu yetiştirme ortamı için tarla kapasitesi ağırlığı kabul edilmiştir. Çim ekimi sonrası yeterli çimlenme sağlanana kadar kasalara günlük olarak eşit oranlarda sulamalar yapılmıştır. Çim tutumu gerçekleştikten sonra konulu sulama uygulamalarına geçilmiştir. Her bir ortamın bitki gelişimi üzerine etkisi farklı olabileceği için her bir ortamın %100 sulamasında gerçekleşen günlük su tüketimleri referans alınmıştır. Her bir ortamın tarla kapasitesi ağırlığına göre %100 sulama konularında tüketilen su miktarı, sulama öncesi kasa ağırlığının tarla kapasitesi ağırlığından çıkarılarak saptanmıştır ve buna göre suyun %100, %50 ve %25'i oranları ile normal, kısıtlı ve çok kısıtlı sulama konuları uygulanmıştır (Ünlükara,

2015; Semiz vd. 2014). Peyzaj alanlarında canlı ve kaliteli çim için sulamalar genellikle günlük yapılır. Bu çalışmada %100 tam sulama konulu kasalardan 9 kasa günlük olarak tartılmış ve bu tartımların ortalama sonuçları su ihtiyacı olduğunu gösterdiği zaman bütün kasalar kendi sulama konuları oranında sulanmıştır. Çalışma yaz sıcakları başlayana kadar devam ettirilmiştir.

Her bir konuya uygulanan sulama suyu miktarları kaydedilmiş, eğer alttan sızma söz konusu ise kasa altına sızan bu drenaj suları kaydedilmiştir. Tüm uygulamalar için bitki gelişme dönemi boyunca bitki su tüketimi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (Ünlükara, 2015; Semiz vd. 2014).

$ET = I \pm \Delta S - d_p$

Eşitlikte;
ET: bitki su tüketimini (litre/kasa),
I: her bir kasaya uygulanan sulama suyu miktarını (litre),
ΔS: her iki ardıl sulamada kasa nem farkını (litre) ve
Dp: kasa altına sızan su miktarını (litre) ifade etmektedir.

Bu şekilde sezon boyunca bitki su tüketimleri saptanmış ve toplamları ile de tüm gelişme dönemi su tüketimi belirlenmiştir. Biçimler sonucunda elde edilen çim kuru biyokütle ağırlıkları ve su tüketimleri kullanılarak her bir ortamın çim karışımı verim tepki faktörü (ky) üzerine etkisi aşağıdaki şekilde saptanmıştır (Doorenbos ve Kassam, 1986).

$$\frac{Y_m - Y_a}{Y_m} = k_y \cdot \frac{ET_m - ET_a}{ET_m}$$

Eşitlikte;
Ym: her bir ortam için %100 sulama konularından elde edilen kuru ot verimini (kg),
Ya: su stresi konularından elde edilen kuru ot verimini (kg),
ETm: %100 konularında bitki su tüketimini (litre),
ETa: stresi konularında elde edilen bitki su tüketimini (litre),
Ky: verim tepki faktörünü ifade etmektedir.

Oransal su tüketiminin azalmasına karşılık oransal kuru ot verimi azalması işaretlendikten sonra excel programı yardımıyla regresyon ve korelasyonu yapılarak ky değerleri elde edilmiştir. Ky değerinin 1'den küçük olması durumunda çim karışımının, kuraklık stresine karşı toleranslı, 1'den büyük olması durumunda ise duyarlı olduğu nitelendirilmiştir. Uygulamaların ve ortamların ky değerleri üzerinde meydana getirdiği değişikliklere göre bitki kuraklık toleransını destekleyip desteklemediği anlaşılmıştır. Yetiştirme ortamı ve uygulamalar için bitki sulama suyu etkinliği ve su kullanım etkinliği ise Howell ve ark. (1992) tarafından verilen aşağıdaki eşitlikler yoluyla hesaplanmıştır.

$$IWUE = \frac{Y_a}{V_i};\ WUE = \frac{Y_a}{ET_a}$$

Eşitlikte;
Ya: her bir konudan elde edilen kuru ot verimini (kg/kasa),
VI: konulara uygulanan sulama suyu hacmini (litre) ve
ETa: her bir konuda tüketilen su miktarını (litre) ifade etmektedir.

Alınan bitki materyaline ait veriler aşağıda sıralanmıştır.

1. Çıkış Oranı (%): 21. gün sonunda çıkan fideler sayılarak (çıkan fide sayısı/toplam tohum sayısı) x 100 formülü ile çimlenme oranı % olarak hesaplanmıştır (Akıncı ve Çalışkan, 2010).

2. Çıkış İndeksi: Her gün çıkan fide, sayım günlerine bölünmesiyle aşağıdaki formüle göre bulunmuştur (Wang ve ark., 2004).

GI=Σ(Gi/Tt); GI: Çimlenme indeksi; Gi: i. günde çimlenen tohum oranı; Tt: Sayım günü

3. Fide Uzunluğu (mm): Deneme sonunda tesadüf olarak seçilen 10 bitkinin fide uzunluğu milimetrik cetvelle ölçülerek belirlenmiştir.

4. Kök Uzunluğu (mm): Fide boyu ölçülen bitkilerde en az 2 mm kök uzunluğu milimetrik cetvelle ölçülerek belirlenmiştir.

5. Fide Yaş Ağırlığı (mg): Seçilen bitkilerin yaş ağırlıkları hassas terazide tartılarak saptanmıştır.

6. Kök Ağırlığı (mg): Seçilen bitkilerin kök yaş ağırlıkları hassas terazide tartılarak saptanmıştır.

7. Yeşil ot verimi (g/m²): Bitkiler her 8-10 cm büyüdüğünde 2.5-3 cm yükseklikten biçilerek elde edilen materyal tartılıp oranlanarak verim bulunmuştur.

8. Renk (1-9 puan): Vejetasyonun rengi gözlemsel olarak belirlenmiştir (1; sarı, 9; koyu yeşil)

9. Bitki ile kaplı alan (%): Oluşturulan vejetasyon dikkatli bir şekilde incelenerek dip kaplamaları % olarak belirlenmiştir.

10. Büyüme formu: Oluşturulan vejetasyonun hangi habitusta (Yumak, rizom, stolon) olduğu hasat sonrası gözlemlenerek belirlenmiştir.

11. Kök gelişmesi (kg/da): Araştırmanın son biçiminden sonra buğdaygil vejetasyonlarında etkin kök gelişmesi, yani kök ağırlığının %95-97'sinin toprağın üst 0-20 cm'lik kısmında olduğu gerçeği de göz önüne alınarak (Tarman, 1972; Gençkan, 1992), her parselden 20 x 20 x 20 cm boyutlarında prizmatik toprak blokları alınmıştır. Bu boyutlarda bir demir çerçeve ile alınan toprak numuneleri bir elek üzerinde çeşme suyu ile yıkanarak köklerin topraktan ayrılması sağlanmıştır. Köklerin üst kısımlarında bulunan vejetatif kısımlar makas yardımı ile kesilerek atılmış ve kökler kese kâğıtlarında kurutma dolabına konulmuştur. 105 °C'de 24 saat kurutulan kökler tartılmış kuru ağırlıkları kaydedilerek ve alan oranlaması yapılarak kök kuru madde ağırlığı kg/da olarak saptanmıştır.

12. Bitkilerde Ağır Metal Konsantrasyonları: Son biçim döneminde alınan çim örnekleri laboratuvarda saf su ile yıkandıktan sora 65 °C'de kurutulup daha sonra agat değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen örnekler mikrodalga (Mars 6) fırınında H_2O_2-HNO_3 asit karışımında yakılmıştır (Kaçar ve İnal, 2008). Elde edilen süzükte Al, Cd, Co, Pb, Ni, Cr, Zn, Fe, Mn, Cu, B elementlerinin konsantrasyonları ICP-OES (Varian Vista Pro) cihazında hesaplanmıştır.

13. Toprakta Ağır Metal Analizleri

Deneme sonunda her bir uygulamaya ait kasalardan yaklaşık 100 gr toprak örneği alınmış ve hava kuru olana kadar kurutulmuştur. Kurutulan toprak örnekleri 2 mm elekte elenmiş ve aşağıda verilen analizler yapılmıştır.

Topraklara toplam ağır metal analizleri: 2 mm elekten elenmiş toprak örneklerinde 0.5 gr tartılmış ve yaş yakma metoduna göre mikrodalga cihazında kral suyu ile ($HCl:HNO_3$- 3:1) yakılıp süzük alınmıştır. Son hacmi 50 ml'ye saf su ile tamamlandıktan sonra ICP-OES cihazında Al, Cd, Co, Pb, Ni, Cr, Zn, Fe, Mn, Cu, B elementlerinin toplam konsantrasyonları belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

Alınabilir ağır metal analizi: Toprakta bitkiye yarayışlı (alınabilir) Al, Cd, Co, Pb, Ni, Cr, Zn, Fe, Mn, Cu, konsantrasyonları Lindsay ve Norvel'e (1978) göre DTPA yöntemine göre belirlenmiştir.

3.2.5 Çalışmada Yapılan İstatistiksel Analizler

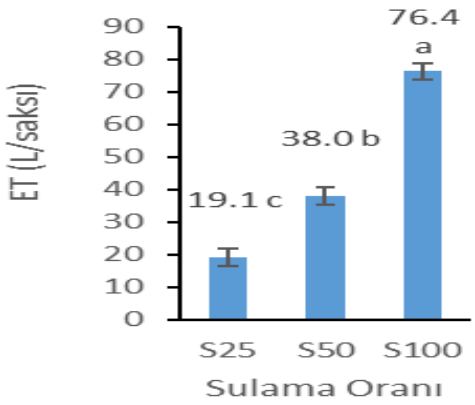
Tesadüf parsellerinde faktöriyel düzene göre kurulan denemeden elde edilen verilerin varyans analizi yapıldıktan sonra uygulama ortalamaları arasındaki farkların önemli olup olmadığı Duncan Çoklu Karşılaştırma testi ile belirlenmiştir. Varyans analizinin varsayımlarını (normal dağılım, varyansların homojen olması) karşılamayan verilerde analizden önce gerekli transformasyonlar yapılmıştır. Transformasyon sonucunda da normal dağılım göstermeyen verilerde nonparametrik testler uygulanmıştır. Analizler SAS paket programı kullanılarak yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Bitki Su Tüketimi (ET)

Denemede ortalama bitki su tüketimi çok kısıtlı sulama (S25) konularında 19.1 L, kısıtlı sulama (S50) konularında 38 L ve tam sulama (S100) konularında 76.4 L şeklinde gerçekleşmiştir. Bitki su tüketiminde oluşan fark yalnızca sulama oranları için $p<0.01$ düzeyinde önemli

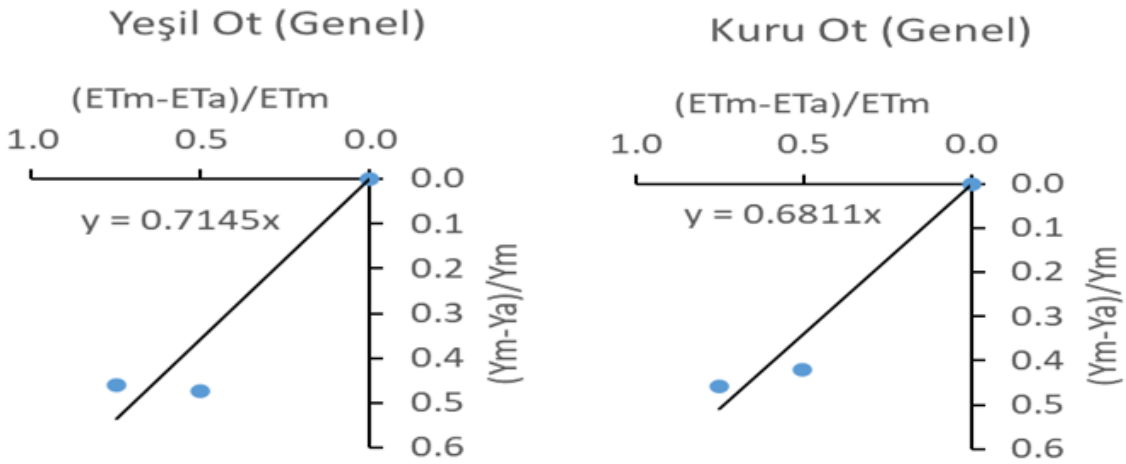
bulunmuştur. Bu sonuçlara göre denemede hedeflenen su stresi koşulları elde edilmiş ve bitkiler farklı su streslerine maruz bırakılmıştır.



Şekil 4.1 Sulama oranlarına göre bitki su tüketimi (ET)

4.2 Verim Tepki Faktörü

Ortalama nispi bitki yaş ve kuru ot verim kayıpları ile nispi su tüketimi düşüş oranları arasındaki ilişkiler Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Çim bitkileri verim tepki faktörleri

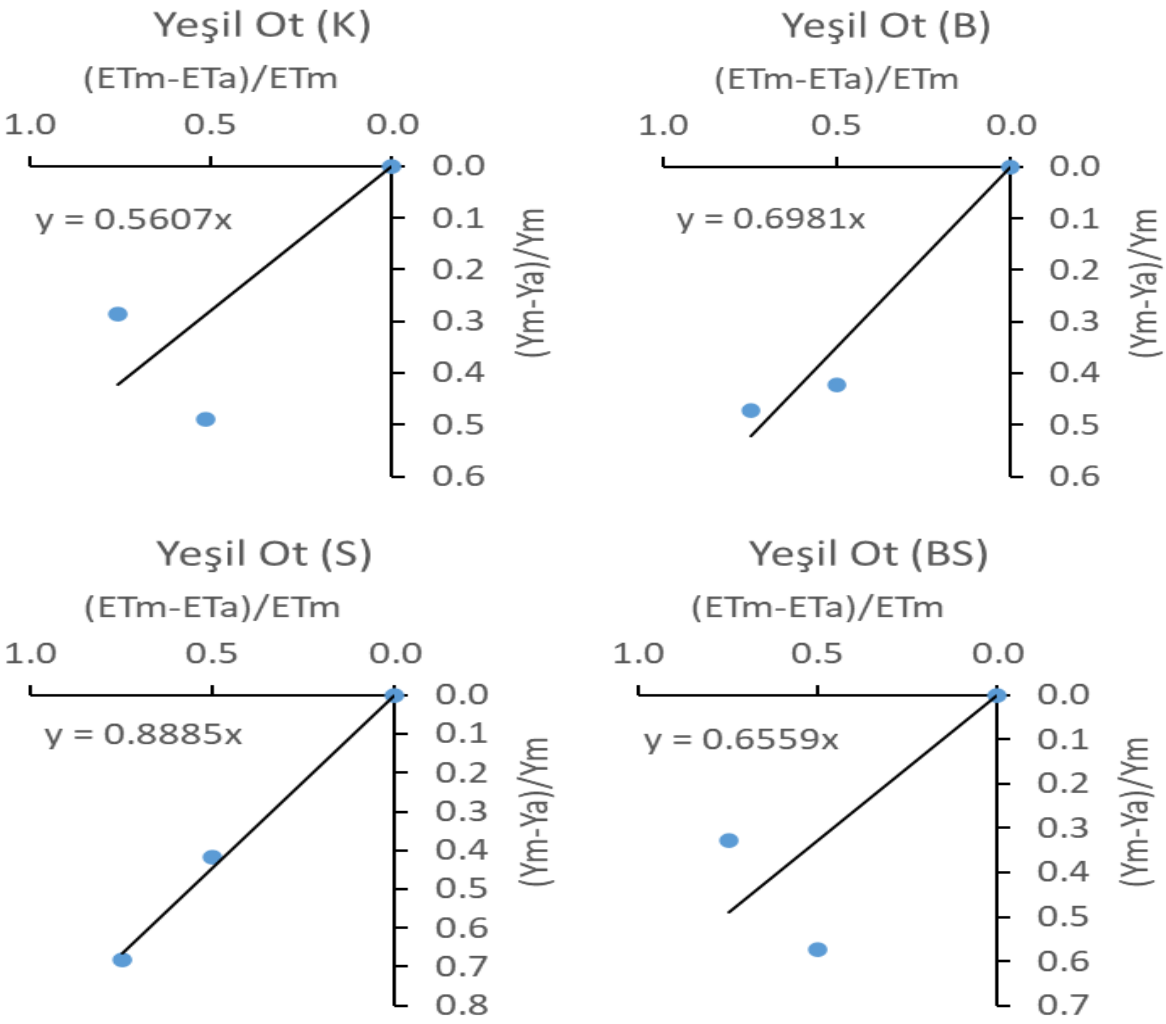
Her iki düşüş oranı arasındaki ilişkinin eğimi verim tepki faktörü (Ky) olarak adlandırılmaktadır. 4.2'de de görülebileceği üzere deneme ortalaması değere göre çim bitkileri yeşil ot verimi için Ky 0.71 ve kuru ot verimi için ise 0.68 olarak belirlenmiştir. Su tüketimi %50 düşene kadar ot

verimi doğrusal bir düşüş sergilemiştir. Su tüketiminin daha da düşürülmesi durumunda oransal verim kaybında neredeyse bir değişiklik meydana gelmemiştir. Bu durum çim bitkisinin su ihtiyacının yarıdan fazla kesilmesi durumunda fizyolojik faaliyetlerini ve gelişimini durdurduğunu göstermektedir.

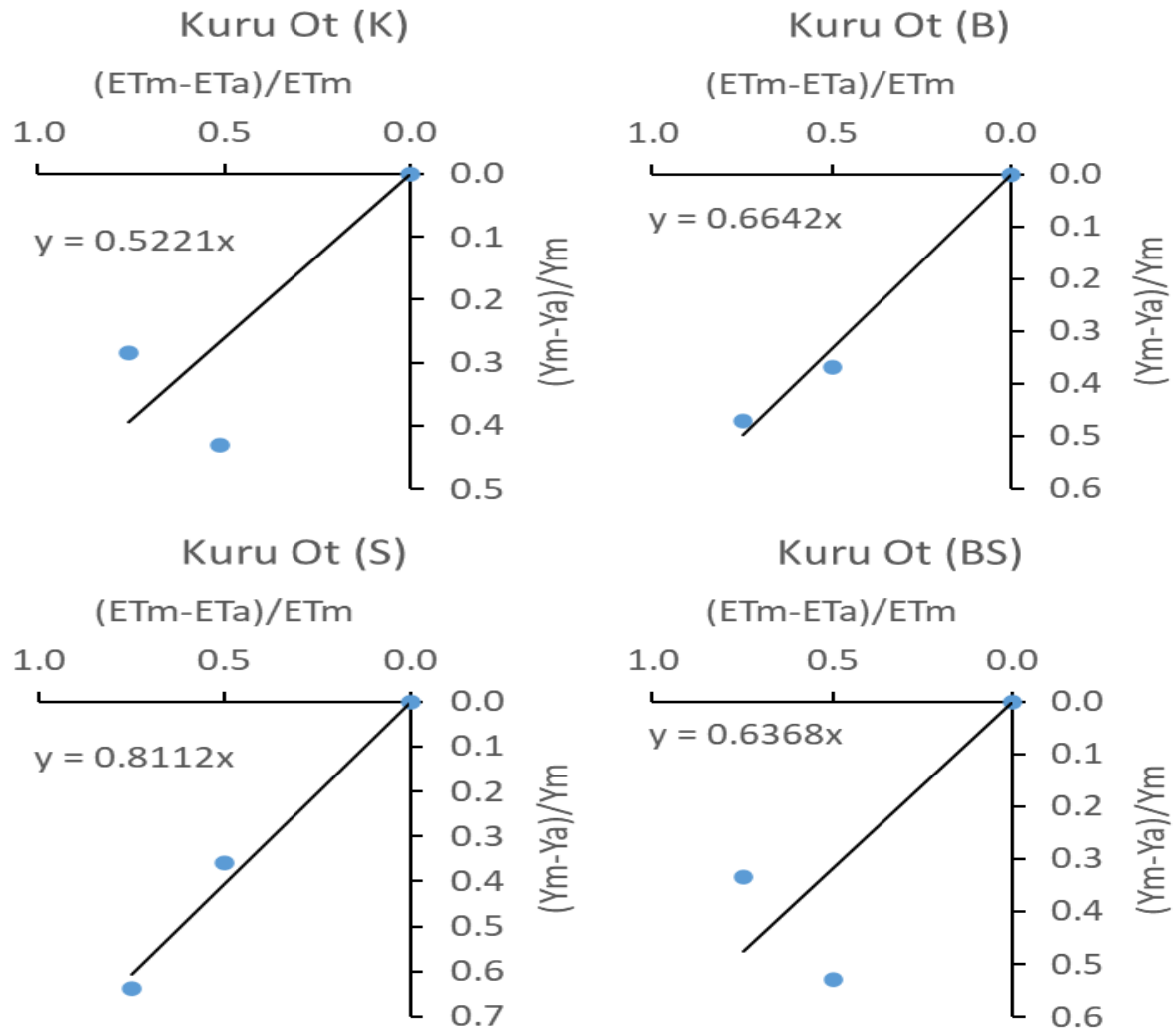
Kontrol konusu (K), biyoçar (B), silisyum (S) ve biyoçar+silisyum (BS) uygulamaları altında ortalama olarak çim bitkilerinin yeşil ot verim tepki faktörleri Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Kontrol konusu için Ky 0.56, biyoçar için 0.70, silisyum için 0.89 ve biyoçar+silisyum için 0.66 saptanmıştır. Buna göre söz konusu maddelerin uygulanması su stresine karşı bitki duyarlılığını artırmıştır. En fazla duyarlılık artışı silisyum uygulamasında ve sonra biyoçar uygulamasında saptanmıştır.

Kuru ot verimi için verim tepki faktörleri Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Uygulanan farklı maddelere göre verim tepki faktörleri K, B, S ve BS uygulamaları için sırasıyla 0.52, 0.66, 0.81 ve 0.64 saptanmıştır. Yeşil ot verimi verim tepki faktörlerine tamamen paralel sonuçlar elde edilmiştir. İkisi arasındaki tek fark, kuru ot veriminin yeşil ot verimine nazaran su stresine karşı bir miktarda daha toleranslı olmasıdır.

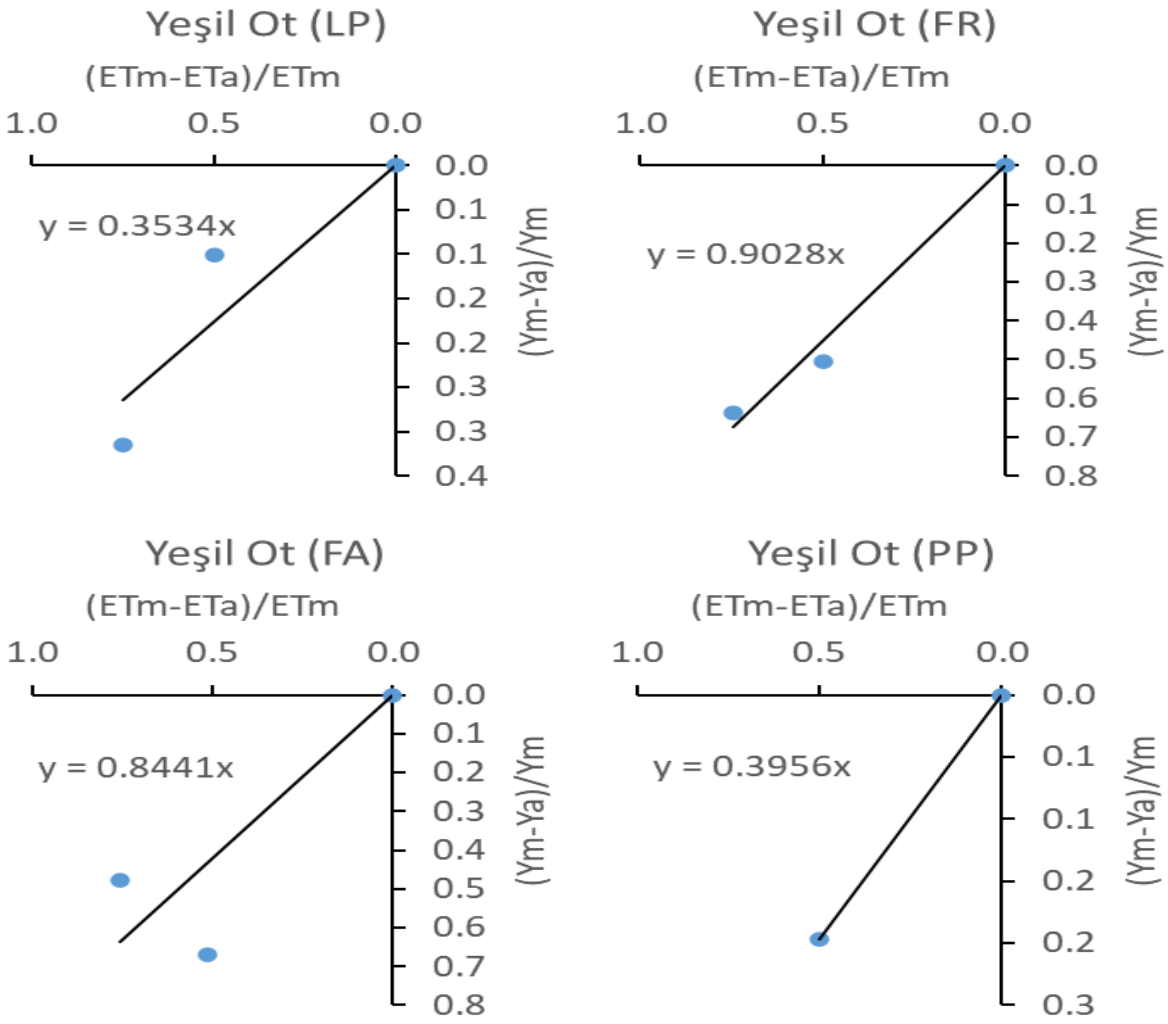


Şekil 4.3 Çim bitkilerinin uygulanan farklı maddeler altında yeşil ot verim tepki faktörleri

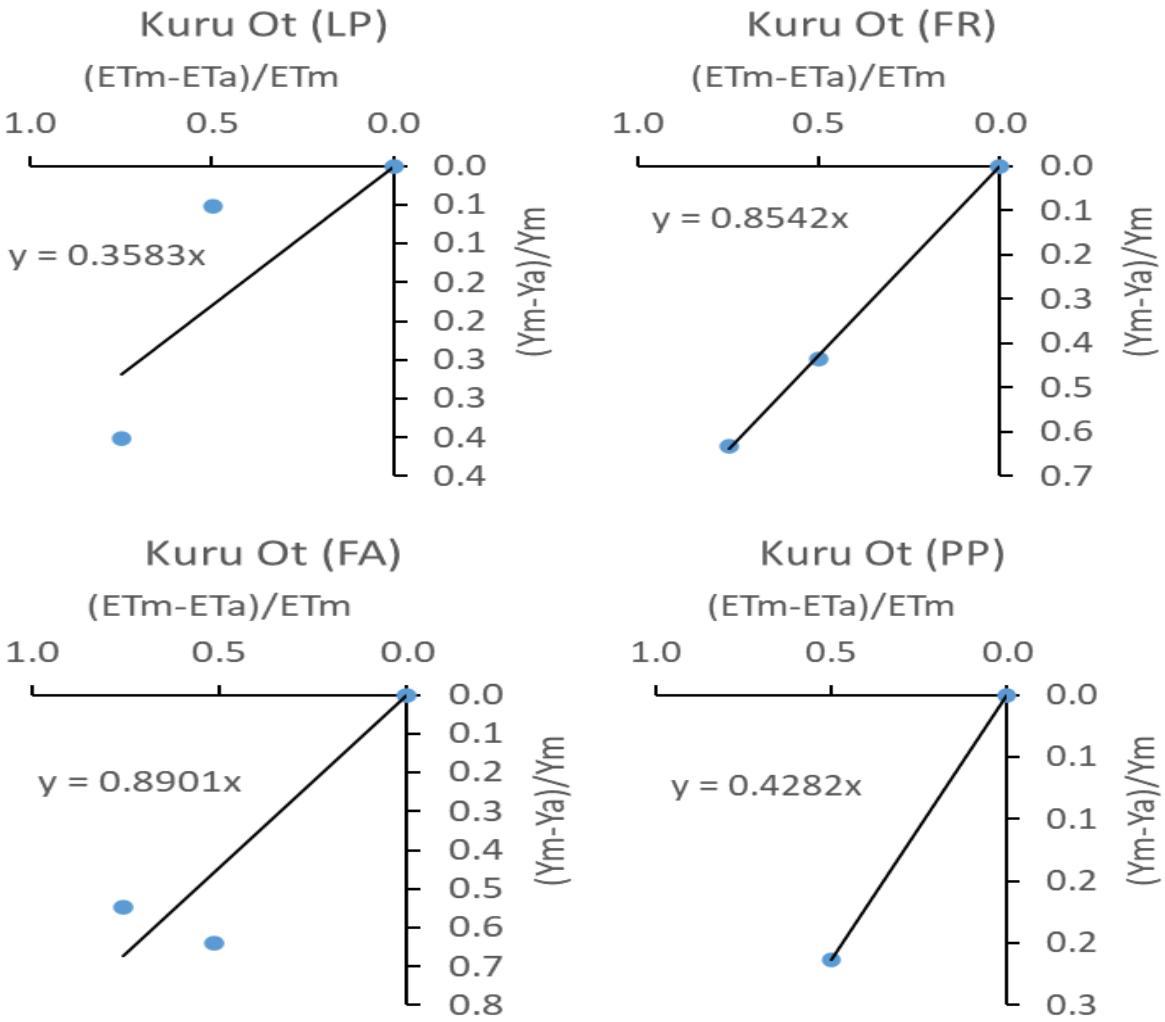


Şekil 4.4 Çim bitkilerinin uygulanan farklı maddeler altında kuru ot verim tepki faktörleri

Çim türlerine göre verim tepki faktörleri Şekil 4.5'de verilmiştir. Dört çim türü için Ky değerlerinin birin altında olması nedeniyle su stresine toleranslı oldukları görülmektedir. Çim türlerinden LP yeşil ot ve kuru ot verimi bakımından su stresine karşı Ky= 0.35 değeri ile son derece dayanıklı olduğu saptanmıştır. En hassas olarak ise Ky= 0.90 ve 0.85 değerleri ile FR türüdür. FA ve PP türlerinin aşırı su stresinde fizyolojik uyku döneminde oldukları söylenebilir. Çim türleri yalnızca peyzaj amaçlı olarak yeşil görüntü sağlamak için kullanılacak ise %50 su stresi kesintisine varmayan hafif kesintiler yapılarak önemli su tasarrufu sağlanacaktır.



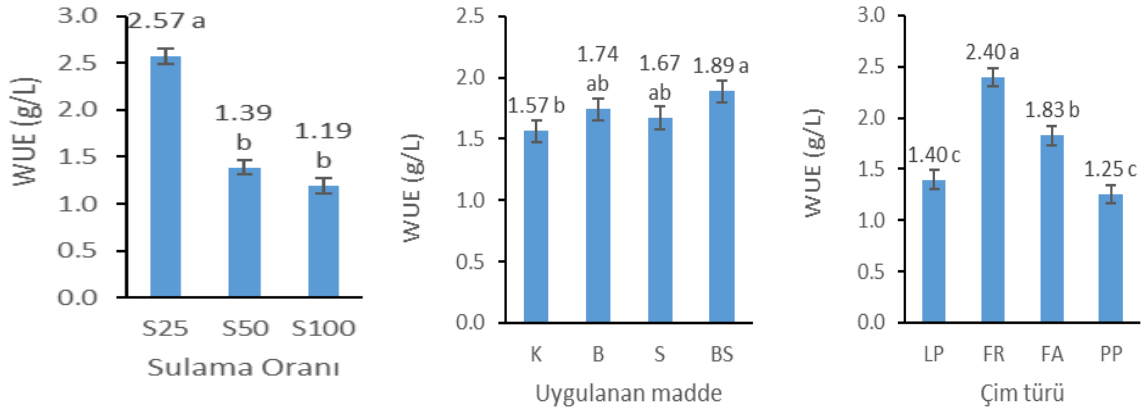
Şekil 4.5 Çim türlerine göre yeşil ot verim tepki faktörü



Şekil 4.6 Çim türlerine göre kuru ot verim tepki faktörü

4.3 Su Kullanım Etkinliği (WUE)

Denemede tüketilen bir litre su için ortalama 1.7 g kuru madde üretilmiştir. Bu su kullanım etkinliği en düşük %50 sulama oranında herhangi bir madde uygulanmayan *Poa pratensis* çim türünde 0.187 g/L ile en yüksek ise %25 sulama uygulamasında biyoçar uygulanan *Festuca rubra* çim türünde 4.963 g/L ve yine %25 sulama uygulamasında biocahar + silisyum uygulanan *Festuca arundinaceae* çim türünde 5.01 g/L saptanmıştır. WUE üzerine sulama oranları, uygulanan maddeler, çim türleri, sulama oranları × uygulanan madde, sulama oranları × çim türleri, uygulanan madde × çim türleri ve sulama oranları × uygulanan madde × çim türleri etkileşimleri $p<0.01$ düzeyinde etkili bulunmuştur. Tüm bu uygulamalara ilişkin sonuçlar ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Grupları Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Uygulamalara ilişkin su kullanım etkinliği

Şekil 4.7'den da görüldüğü üzere artan sulama miktarıyla birlikte WUE değerleri azalmıştır. %25 oranına sulama uygulamasında 2.57 g/L olan bu değer %50 konusunda 1.39 g/L ve %100 konusunda ise 1.19 g/L olarak belirlenmiştir. Yetiştirme ortamına ilave edilen biyoçar ve silisyum çim türleri su kullanım etkinliğini artırmıştır. En düşük WUE 1.57 g/L ile kontrol uygulamasında gözlenmiştir. Çim türlerinden suyu en etkin şekilde *F. rubra* (2.4 g/l) kullanırken sonrasında *F. arundinaceae* (1.83 g/L), *L. perenne* (1.40 g/l) ve en son *P. pratensis* (1.25 g/L) kullanmıştır. Tüm çim türlerine ortalama olarak aynı miktarda su uygulanmıştır.

4.4 Çıkış Oranı

Çıkış oranı açısından türler arasında belirgin farklılıklar ortaya çıkmıştır. En yüksek çıkış oranı % 92.5 ile *Lolium perenne* türünde, en düşük çıkış oranı ise %73.3 ile *Poa pratensis* türünde gözlemlenmiştir. *Festuca rubra* ve *Festuca arundinacea* türlerine ait tohumlar sırasıyla 83.3 ve 82.1 oranında çıkış yapmış olup aradaki fark önemsiz bulunmuştur. Tohumların çıkış oranı ekildikleri ortama bağlı olarak da farklılık göstermiştir. Kontrol olarak kullanılan toprak ortamına kıyasla biyoçar ve silisyum içeren ortamlarda daha yüksek çıkış oranları elde edilmiştir. Çıkış oranı açısından Çim türü ile tohum ekim ortamları arasında önemli bir interaksiyon ortaya çıkmamıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Farklı türlere ait çim tohumlarının farklı ortamlardaki çıkış oranları (%)

Türler	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Silis+Biyoçar	Ortalama
L. perenne	80.0	98.3	100.0	91.7	92.5 A
F. rubra	76.7	86.7	90.0	80.0	83.3 B
F. arundinacea	76.7	81.6	90.0	80.0	82.1 B
P. pratensis	65.0	81.7	80.0	66.7	73.3 C
Ortalama	74.6 b	87.1 a	90.0 a	79.6 b	

Aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasında farklar önemsizdir ($p<0.05$)
Aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsizdir ($p<0.05$)

Farklı türler ait çim tohumlarının çıkış indeksleri arasında önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. *Lolium perenne* tohumlarının çıkış indeksi (2.98) diğer türlerin çıkış indeksinden daha yüksek bulunmuştur. En düşük tohum çıkış indeksi (2.19) *Poa pratensis* türünde bulunmuştur. Tohumların ekildiği ortamlar da çıkış oranı üzerinde önemli bir etki yapmıştır. Kontrol ve hem biyoçar hem de silisyum içeren ortama kıyasla sadece biyoçar ve sadece silisyum içeren ortamlardaki tohumların çıkış indeks değerleri daha yüksek bulunmuştur (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Bazı çim türlerine ait tohumlarının farklı ortamlardaki çıkış indeksi değerleri

Türler	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Silis+Biyoçar	Ortalama
L. perenne	2.55	3.15	3.51	2.68	2.98 A
F. rubra	2.36	2.74	3.06	2.29	2.61 B
F. arundinacea	1.89	2.69	2.98	2.15	2.42 BC
P. pratensis	1.86	2.61	2.45	1.85	2.19 C
Ortalama	2.17 b	2.80 a	3.00 a	2.24 b	

Aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p<0.05$)
Aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p<0.05$)

4.5 Bitki Gelişimi

Tablo 4.3 Farklı ortamlarda farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin fide uzunlukları (cm)

Türler	Sulama	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Si+B
F. arundinacea	S1	14.1 Ab	18.9 Aa	17.7Aa	14.5 Ab
	S2	11.2 ABc	17.6 Aa	17.5 Aa	13.4 Ab
	S3	9.2 Bc	17.3 Aa	9.6 Bc	13.9 Ab
F. rubra	S1	9.7 Ad	14.8 Ac	16.0 Ab	18.3 Aa
	S2	9.2 Ac	12.1 Bb	16.0 Aa	14.8 Ba
	S3	8.4 Bd	11.6 Bb	9.8 Bc	13.6 Ba

L. perenne	S1	9.0 Ac	15.3 Aa	12.6 Ab	14.4 Aa
	S2	6.2 Bc	10.3 Bb	11.0 Bb	13.9 Aa
	S3	6.0 Bc	9.4 Bb	10.3 Ba	9.1 Bb
P. pratensis	S1	10.9 Ac	14.5 Ab	12.6 Abc	18.9 Aa
	S2	9.0 Bc	11.9 Bb	10.3 Bc	15.2 Ba
	S3	8.8 Bb	10.2 Ba	9.2 Bb	9.2 Cb

Her bir tür içinde aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)
Her bir tür içinde aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)

Fide uzunluğu, kök uzunluğu, fide yaş ağırlığı, kök yaş ağırlığı, yeşil ot verimi ve kök gelişimi üzerine çim türü x sulama miktarı x yetiştirme ortamının üçlü interaksiyon etkisi önemli bulunmuştur. Bu verilere ait veriler bu üçlü interaksiyon dikkate alınarak yorumlanmış ve çim bitkisinin fide uzunlukları (cm) Tablo 4.3'da verilmiştir.

Biyoçar ve silisyum+biyoçar ortamında yetişen *Festuca arundinacea* türüne ait fidelerin uzunluklarında, sulama uygulamaları önemli bir değişime neden olmazken kontrol (toprak) ve silisyum uygulanan ortamda, S1 (tam sulama) sulamasına kıyasla S3 (çok kısıtlı sulama) uygulaması fide uzunluğunda azalmaya neden olmuştur. Yine aynı türde yetiştirime ortamlarının etkisi uygulanan su miktarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. S1(tam sulama) ve S2 (kısıtlı sulama) sulama uygulamalarında, biyoçar ve silisyum ortamlarındaki fidelerin uzunluğu diğer ortamdakilere kıyasla daha fazla olurken, çok kısıtlı sulama yapılan (%25) S3 uygulamasında en yüksek fide boyu biyoçar, en düşük fide boyu ise kontrol ve silisyum ortamlarında yetişen bitkilerde görülmüştür.

Festuca rubra türünde S3 su kısıtı uygulaması bütün ortamlarda fide boyunda azalmaya neden olurken S2 uygulamasının etkisi bitkilerin yetiştirildiği ortamlara bağlı olarak farklılık göstermiştir. Kontrol ve silisyum ormanında S2'nin önemli bir etkisi yokken, biyoçar ve biyoçar+silisyum ortamında fide boyunda azalmalar olmuştur. Bu türde ortamların etkisi incelendiğinde hemen hemen bütün su uygulamalarında, biyoçar +silisyum ortamında yetişen bitkilerin boyu daha uzun bulunmuştur. En düşük fide uzunluğu ise yine bütün su uygulamalarında, kontrol olarak kullanılan toprak ortamından elde edilmiştir.

Lolium perenne türünde, S3 su kısıtı uygulaması her dört yetiştirme ortamında da fide boyunu azaltmıştır. Benzer şekilde S2 uygulaması da, silisyum+biyoçar ortamı hariç diğer ortamlarda fide boyunda azalmaya neden olmuştur. Bu türde yetiştirme ortamlarının etkisi verilen su

miktarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Örneğin su kısıntısı yapılmayan S1 uygulamasında en uzun fideler biyoçar ve silisyum+biyoçar ortamından elde edilirken çok kısıtlı su verildiğinde (%25) en uzun fideler biyoçar ortamından elde edilmiştir.

Poa pratensis türünde ortamlardan bağımsız olarak her iki su kısıtı uygulamasında fide boyunda azalamaya neden olmuştur. Fide boyuna ortamların etkisi ise verilen su miktarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Tam sulama (S1) ve %50 su kısıtı altında en uzun fideler silisyum+biyoçar ortamından elde edilirken, çok kısıtlı su uygulamasında (S3) en uzun fideler biyoçar ortamından elde edilmiştir.

Çim bitkisinin kök uzunlukları (mm) Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Farklı ortamlarda, farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin kök uzunlukları (mm)

Türler	Sulama	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Si+B
F. arundinacea	S1	11.4 Aa	11.8 Aa	11.3 Aab	10.3 Ab
	S2	8.7 Bb	10.7 Aa	9.0 Bb	9.6 Aab
	S3	7.2 Bb	7.8 Bab	8.8 Ba	8.1 Bab
F. rubra	S1	11.3 Ac	14.2 Aa	9.2 Ad	13.4 Ab
	S2	9.1 Bb	9.5 Bb	9.2 Ab	12.1 Ba
	S3	9.3 Ba	9.2 Ba	8.7 Aa	9.2 Ca
L. perenne	S1	10.0 Ab	13.6 Aa	9.9 ABb	12.9 Aa
	S2	8.5 Bc	9.0 Bbc	9.4 Bb	12.3 Aa
	S3	7.3 Cb	9.6 Ba	10.7 Aa	10.6 Ba
P. pratensis	S1	11.1 Ab	12.3 Aa	12.5 Aa	12.5 Aa
	S2	10.7 Ab	11.8 Aa	9.9 Bb	10.5 Bb
	S3	8.0 Bc	11.2 Aa	7.8 Cc	9.6 Bb

Her bir tür içinde aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)
Her bir tür içinde aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)

Festuca arundinacea türünde ortamların kök uzunluğu üzerine etkisi verilen su miktarına bağlı olarak farklılık gösterdi. Su kısıtının uygulanmadığı durumda (S1) kontrol ortamına kıyasla biyoçar ve silisyum uygulamaları kök uzunluğunda önemli bir değişime neden olmamıştır. Kısıtlı sulama yapıldığı zaman ise kontrole kıyasla biyoçar uygulaması kök uzunluğunda artışa neden olmuştur. Çok kısıtlı sulama yapıldığında ise silisyum kök uzunluğunda artış sağlamıştır.

Sulama uygulamalarının etkisi değerlendirildiğinde ortamlara bağlı olarak su kısıtının etkisi değişmekle birlikte genel olarak su kısıtı kök uzunluğunda azalmaya neden olmuştur.

Festuca rubra türünde yetiştirme ortamlarının kök uzunluğu üzerine etkisi incelendiğinde, su kısıtının olmadığı durumda en uzun kök biyoçar ortamından, kısıtlı sulamada ise en uzun kök silisyum+biyoçar uygulamasından elde edilmiştir. Çok kısıtlı sulamada ise kök uzunlu açısından yetiştirme ortamları arasında önemli bir farkın oluşmadığı belirlenmiştir. Bu türde su kısıtı uygulamaları silisyum ilave edilen ortam hariç diğer ortamlarda kök uzunluğunda azalamaya neden olmuştur. Silisyum ortamında ise kök uzunlu açısından su kısıtı uygulamaları arasında önemli bir farklılık tespit edilememiştir.

Lolium perenne türünde, hem normal hem de kısıtlı su uygulamalarında, silisyum+biyoçar uygulaması kök uzunluğunu artırmıştır. Biyoçar uygulaması S1 ve S3 sulamasında kök uzunluğunu artırırken, S2 sulamasında önemli bir etki göstermemiştir. Silisyum uygulaması ise kontrol ortamına kıyasla S2 ve S3 sulamalarında kök uzunluğunda artışa neden olurken S1 uygulamasında etkisiz bulunmuştur. Bu türde su kısıtı uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkisi yetiştirme ortamına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Kontrol ve biyoçar içeren ortamlarda her iki su kısıtı uygulamasında su kısıtı yapılmayan S1 uygulamasına kıyasla kök uzunluğunda azalamaya neden olmuştur. Silisyum ortamında yetiştirilen *Lolium perenne* bitkilerinin kök uzunluğunda su kısıtı uygulamaları önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Hem silisyum hem de biyoçar ortamında ise kısıtlı su uygulaması (S2) önemli bir etki yapmazken çok kısıtlı su uygulaması (S3) kök uzunluğunda azalmaya neden olmuştur.

Poa pratensis türünde normal sulama uygulaması altında hem biyoçar hem silisyum hem de silisyum+biyoçar uygulamaları kontrol ortamına kıyasla kök uzunluğunu artırmıştır. Su kısıtı yapıldığında ise diğer uygulamalara kıyasla biyoçarlı ortamdan daha yüksek kök uzunluğu değerleri elde edilmiştir. *Poa pratensis* bitkilerine yapılan su kısıtı uygulamaları biyoçar ortamı hariç diğer ortamlarda kök uzunluğunda azalmaya neden olmuştur.

Farklı ortamlarda, farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin fide yaş ağırlığı (g) Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5 Farklı ortamlarda, farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin fide yaş ağırlığı (g)

Türler	Sulama	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Si+B
F. arundinacea	S1	1.15 Ab	1.35 Ab	1.09 Ab	1.96 Aa
	S2	0.95 Ba	1.12 Ba	1.01 Aa	1.08 Ba
	S3	0.75 Ba	0.64 Ca	0.77 Aa	0.68 Ca
F. rubra	S1	0.24 Bd	0.44 Ac	0.65 Ab	1.01 Aa
	S2	0.65 Aa	0.32 Bb	0.61 Aa	0.58 Ba
	S3	0.47 Ab	1.16 Ca	1.19 Ba	0.43 Cb
L. perenne	S1	0.61 Ac	0.80 Ab	0.98 Aab	1.00 Aa
	S2	0.61 Ab	0.65 Ab	0.89 Ba	0.55 Bb
	S3	0.51 Ab	0.63 Aa	0.35 Cc	0.29 Cc
P. pratensis	S1	0.4 Ac	1.02 Aa	1.07 Aa	0.70 Ab
	S2	0.38 Ac	0.95 Aa	0.59 Bb	0.70 Ab
	S3	0.30 Bb	0.36 Bb	0.59 Ba	0.67 Aa

Her bir tür içinde aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)
Her bir tür içinde aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)

Festuca arundinacea çim türünün fide yaş ağırlığı üzerine yetiştirime ortamlarının genel olarak önemli bir etkisi tespit edilememiştir. Sadece su kısıtı uygulanmayan S1 uygulamasında, silisyum + biyoçar ortamındaki fide yaş ağırlığı diğer ortamdakilere göre daha yüksek bulunmuştur. S2 ve S3 su kısıtı uygulaması altında, fide yaş ağılığı açısından yetiştirme ortamlarının arasında önemli bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Hem kısıtlı hem de çok kısıtlı su uygulaması, silisyum içeren ortam hariç diğer ortamlarda fide yaş ağırlığında azalmaya neden olmuştur. Yetiştirime ortamından bağımsız olarak su kısıtı uygulamaları fide yaş ağırlığında azalamaya neden olmuştur.

Festuca rubra türünde, normal sulama altında, yetiştirme ortamında ilave edilen biyoçar ve silisyum fide yaş ağılığında artışlara neden olmuştur. En belirgin artış silisyum+biyoçar uygulamasında görülmüştür. Su kısıtlı olarak verildiğinde (S2) biyoçar hariç diğer uygulamalar arasında önemli bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Suyun çok kısıtlı olarak verildiği S3 uygulamasında ise biyoçar ve silisyum ortamındaki bitkilerin yaş ağılıkları kontrol ortamındakilerden daha yüksek bulunmuştur. Bu türde de su kısıtı uygulamalarının etkisi yetiştirme ortamına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Kontrol olarak kullanılan toprak ortamında su kısıtı uygulamalarının yaş ağırlığı normal sulama uygulamasından daha yüksek çıkmıştır. Diğer ortamlarda ise fide yaş ağılıkları sulama suyundaki azalmaya bağlı olarak azalmıştır.

Lolium perenne çiminde, yetiştirime ortamına tek başına veya birlikte ilave edilen biyoçar ve silisyum, normal sulama koşullarında fide yaş ağırlığını artırmıştır. Sulamanın kısıtlı yapıldığı koşullarda (S2) bu etki sadece silisyum, sulamanın çok kısıtlı yapıldığı koşullarda (S3) ise sadece biyoçarda görülmüştür. Yetiştirme ortamı olarak toprak veya biyoçar kullanıldığında, su kısıtı fide yaş ağırlığında önemli bir değişime neden olmazken diğer ortamların kullanıldığı durumda her iki su kısıtı uygulaması da fide yaş ağırlığında azalmaya neden olmuştur.

Poa pratensis türünde yetiştirme ortamı ve sulama yöntemi arasındaki interaksiyon fide yaş ağırlığında anlamlı değişikliklere neden olmuştur. Normal sulama şartlarında en düşük fide yaş ağırlığı kontrol ortamında, en yüksek ise biyoçar ve silisyum içeren ortamlardan elde edilmiştir. Çok kısıtlı sulama koşullarında ise en düşük yaş ağırlık yine kontrol uygulamasından elde edilirken, en yüksek yaş ağırlık değeri silisyum ve silisyum+biyoçar içeren ortamlarda yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir. Bu türde de, silisyum+biyoçar ortamı hariç diğer ortamlarda su kısıtı uygulamaları fide yaş ağılığında azalmaya neden olmuştur.

Farklı ortamlarda, farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin kök yaş ağırlığı değerleri (g) Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Farklı ortamlarda, farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin kök yaş ağırlığı değerleri (g)

Türler	Sulama	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Si+B
F. arundinacea	S1	0.47 Ab	0.75 Aa	0.70 Aa	0.53 Ab
	S2	0.45 Ab	0.69 Aa	0.50 Bb	0.37 Bb
	S3	0.27 Bb	0.35 Bab	0.42 Ba	0.32 Bab
F. rubra	S1	0.42 Ac	0.57 Ab	0.76 Aa	0.53 Ab
	S2	0.27 Bb	0.26 Bb	0.42 Ba	0.40 Ba
	S3	0.26 Bb	0.22 Bc	0.39 Ba	0.29 Cb
L. perenne	S1	0.41 Ac	0.79 Aa	0.57 Ab	0.75 Aa
	S2	0.32 Ab	0.61 Ba	0.39 Bb	0.62 Ba
	S3	0.23 Bb	0.35 Ca	0.33 Ba	0.34 Ca
P. pratensis	S1	0.39 Ab	0.47 Ab	0.53 Ab	0.76 Aa
	S2	0.35 Aa	0.42 Aa	0.38 Ba	0.41 Ba
	S3	0.25 Bbc	0.23 Bc	0.29 Cab	0.34 Ba

Her bir tür içinde aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)
Her bir tür içinde aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)

Dört faklı çim bitkisinin kök yaş ağılığı tür sulama yöntemi ve yetiştirme ortamı arasındaki interaksiyonda önemli derecede etkilenmiştir. *Festuca arundinacea* türünde, normal sulama koşullarında biyoçar ve silisyum, kısıtlı sulamada sadece biyoçar, çok kısıtlı sulamada ise sadece silisyum uygulaması kök yaş ağılığında artışa neden olmuştur. Su kısıtı uygulamaları ise bütün ortamlarda kök yaş ağılığında azalmaya neden olmuştur.

Festuca rubra türünde her üç su uygulamasında da en yüksek kök yaş ağırlığı silisyum içeren ortamda yetişen bitkilerden, en düşük ise kontrol ortamında yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir. Bu türde yetişme ortamından bağımsız olarak su kısıtı uygulamaları kök yaş ağılığında azalmaya neden olmuştur.

Lolium perenne her üç sulama yönteminde de yetiştirme ortamına ilave edilen biyoçar ve silisyum kök yaş ağırlığında artışa neden olmuştur. Sulama yöntemlerinin etkisi incelendiğinde, kontrol ortamında sadece çok kısıtlı su uygulaması (S3) diğer ortamlarda ise hem kısıtlı (S2) hem de çok kısıtlı su uygulaması kök yaş ağırlığında azalamaya neden olmuştur.

Poa pratensis türüne ait fidelerin kök yaş ağırlıkları üzerine yetiştirme ortamlarının etkisi sulama miktarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Normal sulama ve çok kısıtlı sulamada, silisyumla birlikte biyoçar ilave edilen ortamdaki bitkilerin kök yaş ağılıkları kontrol ortamındaki bitkilerin kök yaş ağırlığından daha büyük bulunmuştur. Kısıtlı sulamada ise yetiştirme ortamları arasında kök yaş ağılığı açısından önemli bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Kontrol ve biyoçar ortamında, sadece çok kısıtlı su uygulaması, diğer ortamlarda ise her iki su kısıtı uygulaması kök yaş ağılığında azalmaya neden olmuştur.

Farklı ortamlarda ve farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin yeşil ot verimi (g) verileri Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7 Farklı ortamlarda ve farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin yeşil ot verimi (g)

Türler	Sulama	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Si+B
F. arundinacea	S1	259.2 Ac	406.8 Abc	569.1 Aa	424.4 Aab
	S2	171.2 Bb	232.0 Bab	310.4 Ba	309.6AB a
	S3	87.0 Cc	199.0 Bab	143.2 Cbc	245.3 Ba
F. rubra	S1	233.5 Ab	324.2 Aa	318.4 Aa	320.3 Aa
	S2	132.8 Ba	144.8 Ba	122.6 Ba	136.3 Ba
	S3	56.7 Cb	104.5 Ca	76.5 Bb	70.8 Bb

L. perenne	S1	134.6 Aa	161.8 Aa	175.5 Aa	153.7 Aa
	S2	97.7 Bb	152.6 Aa	149.9 Aa	151.0 Aa
	S3	26.4 Cc	35.6 Bc	93.8 Ab	148.3 Aa
P. pratensis	S1	57.2 Ac	80.3 Abc	104.9 Ab	158.3 Aa
	S2	54.9 Ab	67.2 Ab	123.6 Aa	139.0 ABa
	S3	17.9 Bc	45.5 Bbc	71.9 Bab	101.1 Ba

Her bir tür içinde aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)
Her bir tür içinde aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)

Festuca arundinacea çiminin yeşil ot verimi yetiştirme ortamında ilave edilen biyoçar ve silisyum uygulamaları ile bir artış eğilimi göstermekle birlikte ortamların etkisi sulama yöntemlerine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Silisyum ve biyoçar birlikte uygulandığında, sulama yöntemlerinden bağımsız olarak yeşil ot veriminde kontrol uygulamasına kıyasla önemli artışlar tespit edilmiştir. Su kısıtı bütün yetiştirme ortamlarında yeşil ot verimini belirgin şekilde azaltmıştır.

Festuca rubra türünde ortamların etkisi sulama yöntemine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Normal sulamada hem tek başına hem birlikte uygulanan biyoçar ve silisyum yeşil ot verimini artırmıştır. Kısıtlı sulama (S2) uygulamasında ise ortamlar arasındaki farklar önemsiz bulunmuştur. Çok kısıtlı sulama koşullarında, biyoçar uygulamasının yeşil ot verimi diğer uygulamalardan daha fazla olmuştur. Bu türde de ortamlardan bağımsız olarak su kısıtı uygulamaları ot verimini azaltmıştır.

Normal sulama yapılan *Lolium perenne* bitkisinin yeşil ot verimi üzerine yetiştirme ortamlarının önemli bir etkisi tespit edilememiştir. Kısıtlı sulama altında ise silisyum uygulamasının yeşil ot verimini artırdığı belirlenmiştir.

Poa pratensis türünün yeşil ot verimi ortam ve sulama yöntemlerine bağlı olarak önemli değişiklikler göstermiştir. Her üç sulama yönteminde de biyoçarın etkisi önemsiz bulunurken silisyum ve silisyum+biyoçar uygulamaları yeşil ot verimini artırmıştır. Su kısıtı uygulamaları bütün ortamlarda yeşil ot verimini azaltmıştır.

Farklı ortamlarda ve farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin kök gelişim verileri Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Farklı ortamlarda ve farklı sulama uygulamaları altında yetiştirilen 4 farklı çim bitkisinin kök verimi (g)

Türler	Sulama	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Si+B
F. arundinacea	S1	51.3 Ab	52.1 Aab	56.0 Aa	51.3 Ab
	S2	38.9 Bb	48.9 Aa	36.7 Bb	36.6 Bb
	S3	34.4 Ca	19.1 Bc	32.2 Ca	29.1 Cb
F. rubra	S1	62.9 Ac	95.9 Ab	108.1 Ba	96.3 Ab
	S2	50.6 Bc	49.2 Bc	126.1 Aa	84.0 Bb
	S3	44.4 Cb	44.2 Cb	67.8 Ca	28.7 Cc
L. perenne	S1	49.1 Ad	56.9 Ac	82.2 Aa	75.8 Ab
	S2	37.7 Bd	50.2 Bc	73.4 Aa	62.6 Bb
	S3	16.0 Cb	49.2 Ba	33.9 Bab	33.3 Cab
P. pratensis	S1	144.9 Ac	148.3 Ac	169.1 Ab	208.5 Aa
	S2	68.5 Bd	83.9 Bc	94.3 Bb	97.0 Ba
	S3	42.1 Cd	81.1 Cb	72.1 Cc	94.7 Ba

Her bir tür içinde aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)
Her bir tür içinde aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasında fark önemsizdir ($p<0.05$)

Yetiştirme ortamlarının *Festuca arundinacea* çimini kök gelişimi üzerine etkisi sulama miktarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. En iyi kök gelişimi normal sulama altında silisyum içeren ortamdan, su kısıtı uygulaması (S2) altında ise biyoçarlı ortamdan elde edilmiştir. Çok kısıtlı su uygulamasında ise silisyum ve kontrol ortamlarının kök gelişim değerleri diğerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Sulama yöntemlerinin kök gelişimi üzerine azaltıcı etkisi bütün ortamlarda açıkça gözlemlenmiştir.

Festuca rubra türünde her üç sulama yönteminde de en iyi kök gelişimi silisyum ilave edilen ortamdan elde edilmiştir. Silisyumlu ortam hariç diğer ortamlarda verilen su miktarı azaldıkça kök gelişimi de azalmıştır. Silisyumlu ortamda ise çok kısıtlı su uygulaması kök gelişimini azaltırken, kısıtlı su uygulamasındaki kök gelişimi normal sulama uygulamasından daha iyi olmuştur.

Lolium perenne türünde, normal sulama ve kısıtlı sulama (S2) şartlarında en iyi kök gelişimi silisyumlu ortamdan en az kök gelişimi ise kontrol ortamından elde edilmiştir. Çok kısıtlı sulama şartları altında ise biyoçarlı ortamdaki kök gelişimin kontrolden daha iyi olduğu, diğer ortamların ise kontrole kıyasla önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Poa pratensis türü ise her üç sulama miktarında da en iyi kök gelişimini silisyum ve biyoçarın birlikte ilâve edildiği ortamda göstermiştir. Su kısıtı uygulamalarının kök gelişimi üzerine etkisi bütün ortamlarda benzer şekilde olmuş ve verilen su miktarı azaldıkça kök gelişimi de azalmıştır.

Farklı ortamlarda yetiştirilen çim türlerinde renk gelişimi Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9 Farklı ortamlarda yetiştirilen çim türlerinde renk gelişimi (1-9 puan)

Türler	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Silis+Biyoçar	Ortalama
L. perenne	7.6 Ab	7.9 Cab	8.2 Aa	8.0 Aab	7.6 Ab
F. rubra	7.3 Ab	8.2 BCa	7.9 Aab	8.3 Aa	7.3 Ab
F. arundinacea	7.1 Ab	8.8 ABa	8.6 Aa	8.4 Aa	7.1 Ab
P. pratensis	7.3 Ac	8.9 Aa	8.1 Ab	8.6 Aab	7.3 Ac
Ortalama	7.3 b	8.4 a	8.2 a	8.3 a	7.3 b

Aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p<0.05$)
Aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p<0.05$)

Renklenme üzerine ortamın ana etkisi yanında ortam x çeşit interaksiyonunun etkisi önemli bulunmuştur. Türlerden bağımsız olarak yetiştirme ortamlarının ana etkileri incelendiğinde biyoçar veya silisyum içeren ortamlardaki renk değerlerinin kontrol ortamından daha yüksek oldukları görülmüştür. Ortamların etkisi her bir türde ayrı ayrı değerlendirildiğinde, *Festuca arundinacea* türünde silisyumlu ortamdaki bitkilerin renk değerleri kontrol ortamındakilerden daha yüksek bulunmuştur. *Festuca rubra* türünde ise hem tek başına biyoçar hem de silisyum ve biyoçar içeren ortamlardaki bitkilerin renk değerleri kontrol ortamındakilerden daha yüksek çıkmıştır. *Lolium perenne* ve *Poa pratensis* türlerinde ise hem tek başına hem de birlikte ortama ilâve edilen biyoçar ve silisyum renk değerini artırmıştır.

Farklı ortamlarda yetiştirilen çim türlerinin kapladığı alanlar Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10 Farklı ortamlarda yetiştirilen çim türlerinin kapladığı alanlar (%)

Türler	Kontrol	Biyoçar	Silisyum	Silis+Biyoçar	Ortalama
L. perenne	97.0 Ba	97.7 Ba	97.0 Ca	97.9 Aa	97.4 B
F. rubra	96.9 Bc	99.6 Aa	98.3 Bb	98.8 Ab	98.4 A
F. arundinacea	96.6 Bb	99.4 Aa	99.4 Aa	98.7 Aa	98.5 A
P. pratensis	97.8 Ab	99.1 Aa	99.2 Aa	98.0 Ab	98.5 A
Ortalama	97.1 c	98.9 a	98.5 a	98.3 a	

Aynı sütunda aynı büyük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p<0.05$)
Aynı satırda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p<0.05$)

Çim türlerinin kapladığı alan üzerine ortam ve çeşidin ana etkisi yanında çeşit x ortam interaksiyonunun etkisi önemli bulunmuştur. Yetiştirme ortamından bağımsız olarak türler karşılaştırıldığında *Festuca arundinacea* türünün diğer üç çim türüne kıyasla daha az alan kapladığı tespit edilmiştir. Türlerden bağımsız olarak ortamların etkisi karşılaştırıldığında, biyoçar ve silisyum ilave edilen ortamlardaki kaplanan alanın kontrol ortamından daha geniş olduğu saptanmıştır. Ortamların etkisi çim türüne bağlı olarak farklılık göstermiştir. *Festuca arundinacea* çim türünde kaplanan alan bakımından ortamlar arasında önemli bir fark tespit edilemezken, *Festuca rubra*'da biyoçar içeren ortamda daha yüksek kaplanan alan değerlerine ulaşılmıştır. *Lolium perenne* türünde biyoçar, silisyum ve silisyum+biyoçar uygulamaları kaplanan alanı artırmıştır. *Poa pratensis* türünden ise biyoçar ve silisyum ortamında yetişen bitkiler kontrol ortamındakilere göre daha fazla alan kaplamışlardır.

4.6 Çim Türlerinin Ağır Metal Konsantrasyonları

Ağırlıklı olarak Cd, Pb ve Ni gibi toksik elementler ile Fe, Zn ve Cu gibi elementler üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda uygulamalar arasında söz konusu elementlerin içeriği açısından oluşan farklılıkların anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Farklı çim türlerinde gerçekleştirilen ağır metal analizleri sonucunda, hiçbir koşulda birikimlerin toksik sınırları aşmadığı ve uygulamaların her durumda güvenli düzeylerde seyrettiği ortaya konulmuştur (Tablo 4.11).

Tablo 4.11 Çim bitkisinin ağır metal konsantrasyonları (ppm)

Sulama Uyg.	Çim Çeşidi	Uygulama	Al	B	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Çok Kısıtlı Sulama	Lp	Kontrol	87.2	13.1	0.07	0.13	1.71	21.5	286	79	4.40	0.24	33.4
		Si	62.0	11.0	0.07	0.11	1.72	21.1	103	68	4.25	0.14	30.8
		BC	51.8	13.9	0.05	0.13	1.23	17.7	108	57	3.33	0.07	25.4
		S+BC	46.5	11.3	0.06	0.15	1.51	19.4	73	45	3.82	0.34	24.4
	Fa	Kontrol	79.6	7.3	0.10	0.11	1.26	18.6	105	46	4.79	0.46	20.8
		Si	37.3	36.1	0.13	0.56	1.40	21.6	228	107	3.47	0.43	26.6
		BC	71.7	14.4	0.13	0.30	1.62	18.9	107	61	4.64	0.02	20.8
		S+BC	70.2	13.3	0.13	0.20	2.16	18.9	97	47	3.03	0.34	21.3
	Fr	Kontrol	68.3	11.1	0.12	0.11	0.92	18.6	68	63	3.40	0.26	23.5
		Si	38.9	8.3	0.11	0.13	0.94	18.4	88	64	2.98	0.29	19.1
		BC	30.8	10.8	0.08	0.10	1.89	19.8	64	61	3.52	0.31	23.5
		S+BC	24.0	8.8	0.09	0.11	1.10	17.9	92	57	3.34	0.29	19.5
	Pp	Kontrol	91.7	10.5	0.14	0.12	1.84	18.9	78	67	3.40	0.35	26.4

		Si	39.7	9.7	0.09	0.16	1.20	19.1	220	73	7.04	0.59	28.8
		BC	52.2	8.0	0.09	0.14	0.94	18.2	127	72	4.07	0.12	26.9
		S+BC	58.8	7.6	0.15	0.17	1.47	18.3	96	70	4.32	0.20	25.9
Kısıtlı Sulama	Lp	Kontrol	79.9	9.1	0.02	0.07	2.71	17.0	52	69	3.18	0.01	28.0
		Si	54.5	10.6	0.03	0.16	1.58	17.2	106	49	3.68	0.02	25.4
		BC	51.8	13.3	0.04	0.14	2.56	17.2	82	47	4.12	0.20	25.3
		S+BC	28.8	23.2	0.10	0.10	1.20	18.0	121	48	5.56	0.11	25.9
	Fa	Kontrol	67.7	8.8	0.06	0.08	0.96	16.3	48	46	2.34	0.00	15.7
		Si	40.4	21.6	0.09	0.13	2.06	18.2	188	56	3.19	0.09	20.2
		BC	27.3	19.1	0.05	0.17	2.59	18.4	97	66	3.56	0.04	20.4
		S+BC	21.5	16.6	0.13	0.19	1.04	10.0	201	66	3.67	0.07	19.5
	Fr	Kontrol	61.0	17.6	0.19	0.57	1.46	19.8	69	177	4.31	1.44	34.0
		Si	59.8	16.3	0.13	0.08	2.12	11.4	109	82	4.39	0.61	26.0
		BC	37.0	13.0	0.08	0.09	1.25	11.3	107	91	4.71	0.18	24.2
		S+BC	32.0	14.0	0.08	0.15	0.54	9.5	134	85	4.01	0.19	20.9
	Pp	Kontrol	93.7	25.1	0.21	0.12	0.65	14.4	160	134	6.03	0.16	39.5
		Si	65.1	18.1	0.22	0.20	0.70	14.5	167	137	7.72	0.00	41.2
		BC	39.9	16.4	0.22	0.08	0.61	15.4	138	146	5.56	0.06	40.2
		S+BC	35.2	18.0	0.21	0.09	1.56	15.3	292	139	7.59	0.21	40.9
Tam Sulama	Lp	Kontrol	57.9	26.1	0.09	0.66	1.71	18.5	106	133	8.81	0.92	43.6
		Si	45.3	50.7	0.08	0.21	1.16	16.7	126	114	5.91	0.08	46.0
		BC	36.0	24.6	0.14	0.22	2.00	17.0	223	136	6.12	0.19	46.4
		S+BC	30.3	24.2	0.10	0.28	2.49	15.3	119	146	7.37	0.16	48.6
	Fa	Kontrol	53.6	30.0	0.19	0.21	1.56	13.5	207	101	6.99	0.04	30.2
		Si	38.2	44.8	0.14	0.22	0.97	11.6	268	102	8.71	0.15	82.7
		BC	37.0	18.8	0.15	0.17	1.38	10.6	337	95	3.17	0.14	28.6
		S+BC	26.3	15.6	0.16	0.12	1.27	10.2	330	84	9.10	0.22	26.2
	Fr	Kontrol	56.8	22.7	0.21	0.16	0.87	18.2	274	147	6.19	0.09	42.0
		Si	33.5	22.0	0.15	0.16	1.50	11.8	390	92	4.02	0.15	24.4
		BC	32.4	30.8	0.21	0.32	2.35	18.4	207	163	7.55	0.07	43.6
		S+BC	27.1	22.3	0.21	0.85	1.21	22.9	131	225	6.07	1.13	46.4
	Pp	Kontrol	49.3	23.5	0.18	0.12	1.54	11.9	384	142	5.27	0.14	32.2
		Si	37.6	25.8	0.17	0.50	1.95	16.4	306	168	9.99	0.37	41.9
		BC	28.8	22.4	0.16	0.24	1.26	13.1	266	145	5.61	0.36	39.1
		S+BC	26.7	37.2	0.10	0.18	1.83	10.1	210	85	8.48	0.33	32.2

Benzer şekilde farklı sulama düzeyleri, çim türleri ve uygulamaların toprakta bitkiye yarayışlı ve toplam ağır metal konsantrasyonları üzerinde belirgin bir toksisite riski oluşturmadığı saptanmıştır. Ayrıca uygulamalar arasında da anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir (Tablo 4.12 ve 4.13).

Tablo 4.12 Toprakta bitkiye yarayışlı ağır metal konsantrasyonları

Sulama Uyg.	Çim Çeşidi	Uygulama	Al (ppm)	B (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppb)	Zn (ppm)
Çok Kısıtlı Sulama	Lp	Kontrol	3.49	0.22	0.05	0.04	0.09	1.04	4.67	5.48	0.64	11.4	0.67
		Si	2.48	0.28	0.06	0.03	0.08	0.95	4.49	5.38	0.73	11.8	0.64
		BC	1.01	0.25	0.05	0.05	0.10	0.95	4.95	4.59	0.65	13.5	0.69
		S+BC	1.86	0.24	0.06	0.04	0.09	0.99	4.64	4.92	0.72	12.8	0.61
	Fa	Kontrol	3.18	0.26	0.06	0.03	0.09	0.94	4.43	5.29	0.65	12.7	0.64
		Si	2.87	0.24	0.07	0.04	0.09	0.92	4.91	4.73	0.68	14.2	0.61
		BC	2.81	0.24	0.06	0.04	0.08	0.91	4.45	5.39	0.62	11.2	0.68
		S+BC	2.49	0.25	0.07	0.03	0.07	0.90	4.70	4.59	0.71	12.4	0.69
	Fr	Kontrol	2.73	0.30	0.06	0.04	0.09	1.06	4.83	5.50	0.67	11.9	0.66
		Si	1.55	0.30	0.05	0.05	0.09	1.03	4.43	5.04	0.61	14.4	0.69
		BC	2.56	0.27	0.07	0.03	0.09	0.94	4.97	4.68	0.61	14.2	0.69
		S+BC	1.23	0.26	0.07	0.03	0.08	1.05	4.40	4.99	0.65	14.5	0.63
	Pp	Kontrol	4.67	0.24	0.07	0.04	0.09	1.00	4.81	5.08	0.62	12.5	0.67
		Si	3.29	0.27	0.06	0.04	0.08	1.05	4.43	5.10	0.73	12.6	0.67
		BC	1.59	0.22	0.05	0.04	0.08	1.09	4.34	4.90	0.61	13.1	0.61
		S+BC	2.35	0.21	0.07	0.04	0.08	1.05	4.07	4.66	0.67	13.9	0.67
Kısıtlı Sulama	Lp	Kontrol	3.19	0.25	0.07	0.05	0.08	0.95	4.53	5.46	0.73	13.4	0.63
		Si	2.87	0.29	0.07	0.05	0.08	0.92	4.73	5.42	0.69	10.7	0.67
		BC	2.18	0.24	0.06	0.03	0.09	0.95	4.48	4.61	0.63	11.2	0.64
		S+BC	1.15	0.24	0.06	0.05	0.09	1.09	4.34	5.06	0.64	10.7	0.62
	Fa	Kontrol	2.62	0.25	0.06	0.05	0.08	0.95	4.40	5.19	0.61	10.9	0.66
		Si	1.09	0.21	0.06	0.05	0.09	0.98	4.44	5.20	0.62	12.9	0.69
		BC	2.09	0.27	0.07	0.05	0.08	1.08	4.76	4.76	0.73	11.2	0.61
		S+BC	1.71	0.29	0.05	0.03	0.08	0.97	5.00	4.97	0.60	14.1	0.62
	Fr	Kontrol	2.39	0.21	0.06	0.04	0.08	1.00	4.71	5.29	0.61	14.3	0.61
		Si	1.24	0.28	0.06	0.04	0.08	0.92	4.76	4.73	0.61	14.7	0.67
		BC	1.55	0.28	0.07	0.03	0.07	1.02	4.46	4.75	0.69	10.7	0.68
		S+BC	0.44	0.29	0.07	0.04	0.09	0.92	4.68	4.78	0.65	14.9	0.65
	Pp	Kontrol	4.39	0.24	0.07	0.04	0.07	0.91	4.58	4.97	0.61	13.5	0.68
		Si	3.75	0.20	0.07	0.03	0.07	1.02	4.49	5.05	0.65	12.0	0.70

		BC	2.60	0.21	0.06	0.03	0.08	1.10	4.99	5.40	0.67	12.6	0.66
		S+BC	1.41	0.28	0.07	0.04	0.09	1.01	4.80	5.05	0.70	10.9	0.68
Tam Sulama	Lp	Kontrol	3.81	0.22	0.05	0.04	0.08	1.05	4.03	5.25	0.70	14.9	0.70
		Si	2.32	0.27	0.06	0.04	0.09	0.99	4.45	4.74	0.68	11.1	0.61
		BC	2.81	0.23	0.07	0.04	0.09	0.94	4.59	5.15	0.60	12.2	0.63
		S+BC	1.44	0.21	0.07	0.05	0.10	1.08	4.70	4.80	0.62	11.5	0.63
	Fa	Kontrol	2.05	0.28	0.06	0.04	0.07	1.09	4.01	4.74	0.67	11.8	0.63
		Si	1.35	0.29	0.05	0.05	0.08	0.95	4.64	4.96	0.67	12.2	0.68
		BC	1.33	0.23	0.07	0.04	0.08	1.00	4.47	5.31	0.72	12.5	0.62
		S+BC	1.08	0.23	0.07	0.03	0.09	1.08	4.80	5.07	0.65	12.4	0.61
	Fr	Kontrol	2.47	0.25	0.06	0.04	0.09	0.93	4.21	4.61	0.75	13.1	0.62
		Si	1.34	0.26	0.07	0.05	0.07	1.06	4.18	5.40	0.66	10.0	0.61
		BC	1.10	0.28	0.06	0.04	0.08	0.93	4.43	5.22	0.68	11.2	0.65
		S+BC	0.68	0.23	0.06	0.05	0.09	0.97	4.94	4.97	0.71	13.3	0.69
	Pp	Kontrol	1.31	0.22	0.06	0.05	0.08	1.00	4.15	5.19	0.68	14.7	0.68
		Si	1.15	0.24	0.07	0.05	0.09	1.03	4.27	5.18	0.67	13.1	0.62
		BC	0.97	0.23	0.05	0.04	0.08	0.97	4.58	5.22	0.68	14.4	0.63
		S+BC	0.97	0.28	0.06	0.04	0.07	0.95	4.71	4.84	0.66	10.9	0.67

Genel olarak Cd, Pb ve Ni gibi toksik elementlerin tüm uygulamalarda çok düşük seviyelerde kalması, bu elementlerin mobilitesinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Al konsantrasyonları sulama düzeylerine duyarlı bulunmuş; çok kısıtlı sulama koşullarında nispeten yüksek, tam sulama koşullarında ise düşük seviyelerde ölçülmüştür. Bu durum, toprak nem içeriğinin metal çözünürlüğü üzerinde doğrudan etkili olduğunu düşündürmektedir. Çim türleri arasında ise *Lolium perenne* daha yüksek Al değerleri ile öne çıkarken, *Poa pratensis* düşük Al ve Cd düzeyleriyle daha güvenli bir profil sergilemiştir. Uygulama bazında değerlendirildiğinde, silisyumun genel olarak Al çözünürlüğünü azalttığı, biyoçarın ise toprakta tamponlayıcı bir rol üstlenerek hem Al hem de Cd konsantrasyonlarını düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca biyoçar+silisyum kombinasyonu (S+BC), bazı türlerde özellikle Al düzeylerini en düşük değerlere çekmiştir. Bununla birlikte Fe, Mn, Zn ve Cu gibi esansiyel elementler tüm koşullarda dengeli seviyelerde kalmış, uygulamalardan olumsuz etkilenmemiştir. Bu sonuçlar, arıtma çamurundan elde edilen biyoçar ve silisyum uygulamalarının, sulama kısıtlaması ve tür farklılıkları dikkate alındığında dahi, toprakta ağır metal yarayışlılığını toksik düzeylere çıkarmadığını ve sürdürülebilir kullanım açısından güvenli olduğunu göstermektedir.

Farklı sulama düzeyleri, çim türleri ve uygulamaların toprakta toplam ağır metal konsantrasyonları Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.13 Toprakta toplam ağır metal konsantrasyonları (ppm)

Sulama Uyg.	Çim Çeşidi	Uygulama	Al (%)	B (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (%)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Çok Kısıtlı Sulama	Lp	Kontrol	3.59	0.26	0.35	1.29	3.42	179	2.42	0.11	22.0	6.46	55.1
		Si	3.10	2.21	0.33	1.06	3.44	176	3.41	0.10	21.3	3.82	56.8
		BC	3.58	2.78	0.23	1.27	2.46	105	4.34	0.08	16.6	5.77	59.6
		S+BC	3.27	2.25	0.28	1.53	3.02	162	2.92	0.06	19.1	9.16	56.2
	Fa	Kontrol	2.65	1.15	0.48	1.06	2.51	155	4.20	0.07	24.0	5.45	52.0
		Si	3.78	1.23	0.65	0.56	2.81	180	3.13	0.15	17.3	8.91	56.4
		BC	2.83	1.29	0.67	1.97	3.24	158	4.26	0.09	23.2	7.87	52.9
		S+BC	3.12	1.67	0.65	1.02	0.43	158	3.88	0.07	15.2	9.15	54.6
	Fr	Kontrol	1.43	2.23	0.06	1.09	1.85	155	2.72	0.09	17.0	7.05	58.5
		Si	3.16	1.66	0.55	1.31	1.88	153	3.51	0.09	14.9	7.85	56.2
		BC	1.38	2.16	0.42	0.99	3.78	165	2.57	0.09	17.1	8.24	59.6
		S+BC	2.01	1.18	0.46	1.09	2.20	149	3.69	0.08	16.7	7.75	50.9
	Pp	Kontrol	1.83	2.10	0.71	0.12	3.68	157	3.12	0.10	18.7	9.24	56.8
		Si	1.59	1.93	0.46	1.56	2.40	159	4.88	0.10	35.2	9.18	54.6
		BC	1.12	1.60	0.46	1.37	1.88	105	4.09	0.10	20.4	9.76	51.3
		S+BC	2.94	1.53	0.76	1.70	2.93	152	3.83	0.10	21.6	6.72	52.2
Kısıtlı Sulama	Lp	Kontrol	1.39	1.82	0.12	0.73	5.41	142	2.09	0.10	15.9	8.97	52.4
		Si	1.89	2.11	0.15	1.58	3.16	144	3.22	0.07	18.4	8.88	59.0
		BC	2.23	2.66	0.20	1.43	5.12	143	3.33	0.07	20.6	5.37	51.6
		S+BC	3.93	1.64	0.49	0.98	2.40	150	4.83	0.07	27.8	6.94	54.0
	Fa	Kontrol	1.75	1.77	0.28	0.83	0.19	136	2.91	0.01	17.0	7.76	51.9
		Si	1.22	1.31	0.43	1.30	4.12	105	4.50	0.08	16.0	7.71	59.1
		BC	2.64	1.82	0.27	1.73	5.19	154	3.89	0.09	17.8	6.72	59.9
		S+BC	1.83	1.32	0.63	1.85	2.07	184	4.05	0.09	18.3	7.19	58.8
	Fr	Kontrol	3.05	2.53	0.94	0.72	2.92	165	2.75	0.25	21.6	7.68	59.2
		Si	2.88	2.25	0.66	0.81	4.23	195	4.34	0.12	22.0	6.98	51.0
		BC	1.50	1.60	0.39	0.93	2.49	194	4.28	0.13	23.5	5.91	56.5
		S+BC	1.50	1.79	0.40	0.50	1.07	120	5.37	0.12	20.0	5.30	58.4
	Pp	Kontrol	1.83	2.50	1.06	1.20	1.30	120	3.42	0.19	30.2	5.22	57.0
		Si	2.93	1.62	0.11	1.95	1.41	121	4.66	0.20	30.6	5.20	56.7
		BC	2.54	1.27	1.08	0.79	1.23	128	4.53	0.21	27.1	6.81	53.2
		S+BC	1.61	1.59	1.04	0.92	3.12	128	4.09	0.20	38.0	5.63	56.9
Tam Sul	Lp	Kontrol	1.01	1.23	0.05	1.64	3.42	154	4.22	0.19	44.0	6.46	55.7

		Si	1.15	1.15	0.38	1.09	2.32	104	4.02	0.02	29.1	9.29	57.5
		BC	2.40	1.91	0.70	1.23	3.99	142	3.94	0.19	30.6	5.02	57.1
		S+BC	2.67	1.84	0.49	1.81	4.99	128	3.76	0.21	36.8	8.30	52.1
	Fa	Kontrol	3.32	1.99	0.09	1.11	3.12	113	4.27	0.14	35.0	7.77	57.0
		Si	1.81	1.97	0.68	1.20	1.94	110	2.74	0.15	30.5	8.10	55.9
		BC	1.09	1.76	0.74	1.67	2.75	128	2.47	0.14	31.6	7.70	59.4
		S+BC	1.63	2.12	0.79	1.15	2.54	135	2.20	0.12	35.5	5.80	51.6
	Fr	Kontrol	1.40	1.53	1.03	1.63	1.74	152	2.94	0.21	30.9	6.37	59.1
		Si	1.77	1.40	0.74	1.62	3.01	198	2.58	0.13	20.1	5.24	56.6
		BC	1.19	2.15	1.05	1.18	4.71	153	3.27	0.23	30.8	6.51	52.8
		S+BC	1.53	1.46	0.10	0.85	0.24	191	3.23	0.03	30.4	5.68	54.5
	Pp	Kontrol	1.81	1.71	0.88	1.22	3.09	199	2.55	0.20	26.3	9.09	52.5
		Si	1.39	2.15	0.86	1.05	3.89	136	2.24	0.24	30.0	9.77	52.5
		BC	1.33	1.48	0.79	1.38	2.52	151	2.03	0.02	28.1	9.63	51.4
		S+BC	1.63	1.44	0.50	1.85	3.66	184	2.39	0.12	32.4	8.76	58.7

5. TARTIŞMA

5.1 Su Tüketimi, Verim Tepki Faktörü, Su Kullanım Etkinliği

Verim tepki faktörü (Ky) 1'den büyük ise bitkinin su stresine karşı duyarlı olduğu, küçük ise toleranslı olduğu sonucuna varılmaktadır (Doorenbos ve Kassam, 1986). Toleranslı bitkiler su stresine maruz kaldığında duyarlı bitkilere göre daha az verim kaybederler. Ancak duyarlı bitkilerin ihtiyaç duyduğu su düzeyine kadar gerekli sulama suyu oranları artırıldıkça toleranslı bitkilere nazaran daha yüksek verim artışları sağlarlar. Bu çalışmada uygulamalardan ve türlerden bağımsız olarak deneme ortalaması değere göre yeşil ot verimi için Ky 0.71 ve kuru ot verimi için ise 0.68 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla ortalama veriler üzerinden çim bitkilerinin su stresine karşı toleranslı oldukları söylenebilir. Yetiştirme ortamlarına ilâve edilen biyoçar ve silisyum yeşil ot verim tepki faktörünü artırmıştır. Bu sonuçlar söz konusu uygulamaların su stresine karşı bitki duyarlılığını artırdığını göstermektedir. En fazla duyarlılık artışı silisyum uygulamasında ve sonra biyoçar uygulamasında saptanmıştır. Duyarlılıktaki bu artış tam sulama şartlarında silisyum ve biyoçar uygulamalarının bitki verimliliği kontrol konusuna karşı iyileştirmesinden kaynaklanmıştır. Nitekim %100 sulamalarda K, B, S ve BS uygulamaları altında yeşil ot verimi sırasıyla 256.4 g, 325.3 g, 380.0 g ve 337.0 g bulunmuştur.

Verim tepki faktörleri sonuçlarına göre her dört çim türünün de su stresine karşı toleranslı olduğu belirtilmişti. Yani bitki su ihtiyacından kesinti yapıldığında daha az verim kaybediyorlardı. Dolayısıyla su stresi bitki su kullanımında artışa yol açmaktadır. Duyarlı bitkilerde ise bu durumun tersi geçerlidir. Çim türleri arasında su kullanım etkinliğindeki farklılık çim türlerinin verim potansiyellerinde ileri gelmektedir. En yüksek ot verimini veren türlerde su kullanım etkinliği artmıştır.

5.2 Çim Çıkışları

Çimlendirme testi sonuçları çimlenme gün sayısı bakımından değerlendirildiğinde; çeşitlerin ortalama çimlenme süreleri 2 ile 18 gün arasında olduğu belirlenmiştir. Çimlenme koşullarını; tohumun genetik yapısı, toprak nemi, hava ve dolayısıyla toprak sıcaklığı ve ışık etkilemektedir. Ayrıca çeşitlerin genetik yapı dışındaki abiyotik koşullara gösterdiği tepki de farklı olabilmektedir. Bazı kaynaklar çimlenmenin en geç 14 güne kadar tamamlanması gerektiğini bildirmektedir (Gençkan, 1970; Şehirali, 1997; Açıkgöz, 2001). Denemede her ne kadar çimlenme süreleri 2. gün başlayıp 18. güne kadar sürmüş olsa da çimlenmelerin esasen yoğun olarak 4-12 gün aralıklarında ve yeterli olduğu görülmektedir. 14. günden sonra çimlenen tohum sayısı oldukça az ve istatistiki olarak ihmal edilebilir sayılardadır.

Dört farklı çim türünün kullanıldığı bu çalışmada çimlenme oranlarının %92.5 (*L. perenne*) ile %73.3 (*P. Patensis*) arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu türler için benzer oranlar diğer araştırıcılar tarafından da bildirilmiştir (Beard, 1973; Açıkgöz, 2001; Avcıoğlu, 2014). Çeşitler arasındaki farklılıkların kaynağı hem genetik hem de fiziksel yapılarıyla ilgilidir. *P. pratensis* türünün yavaş çimlendiği diğer bazı çalışmalarda da tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise genetik yapısı ve tohumlarının diğer türlere göre çok daha küçük olmasıdır (Beard, 1973; Açıkgöz, 1994; Avcıoğlu, 2014). Çim tohumları açısından her zaman; iri, bindane ağırlığı fazla olan dolgun tohumlar, ince ve küçük tohumlulara göre hem daha erken çimlenir hem de çimlenmesini daha kısa sürede tamamlarlar ayrıca sürme güçleri de daha yüksektir. Bunun nedeni hem embriyolarının hem de endospermlerinin daha büyük olmasıyla ilgilidir. Çalışmada kullanılan türler içinde bin dane ağırlığı en yüksek olan *F. arundinace* türünün ilk sırada olması beklenirken üçüncü sırada yer alması, araştırmada kullanılan ticari çeşidin genetik yapısı ve rizomlu olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Yüksek dozda uygulandığında biyoçar toksitesinin bitki gelişimi ve tohum çimlenmesini engelleme potansiyeline sahip olduğu bildirilmiş ve uygulanacak biyoçarın toksit etki yapıp

yapmayacağının uygulama öncesi tohum çimlendirme testleri ile belirlenebileceği ileri sürülmüştür ((Solaiman et al., 2012; Free et al., 2010; Sun ve ark., 2017). Biyoçarın tohum çimlenmesi üzerine engelleyici veya teşvik edici olabileceği bunun biyoçar içindeki karbon bileşiklerinin kimyasal işlevselliği ve moleküler özelliklerine göre değişebileceği bildirilmiştir (Sun ve ark., 2017). Bu sonuç uygulanan biyoçarın çim tohumlarının çimlenmesini teşvik etmiştir.

5.3 Bitki Gelişimi

Biyoçar konusunda yapılan pek çok çalışmada, uygun dozlarda uygulandığında biyoçarın toprak yapısını, besin tutma kapasitesini, mikrobiyal aktiviteleri iyileştirerek, sürdürülebilir toprak verimliliğine katkı sağlayarak bitki gelişimini olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir (Hoque ve ark, 2025). Yapılan uygulamalara bağlı olarak bir miktar değişmekle birlikte, dört faklı çim bitkisi ile yapılan bu çalışmada da bu literatür bulgularını destekler sonuçlar elde edilmiş ve yetişme ortamına ilave edilen biyoçarın bitki gelişimini artırdığı belirleniştir.

Su kısıtı uygulamaları bütün yetiştirme ortamlarında bitki gelişiminde azalmaya neden olmakla birlikte hem tam sulamada hem de kısıtlı sulama uygulamalarında biyoçarlı ortamlardaki bitkiler daha iyi bir gelişme göstermiştir. Bu sonuç biyoçarın su kullanım etkinliğini artırması ile ilgili olabilir (Han ve ark.2023). Aynı şekilde silisyumunda, kuraklığın neden olduğu klorofil bozunmasını hafifleterek, kök su alımını artırarak, daha yüksek yaprak su içeriğini koruyarak ve fotosentetik enzim aktivitesini, stoma iletkenliğini, antioksidan savunmasını ve fotosentez oranını artırarak kuraklığın olumsuz etkisini azaltmada faydalı olduğu bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2025).

5.4 Bitkilerin Ağır Metal Konsantrasyonları

Analiz edilen tüm parametreler incelendiğinde Cd, Pb ve Ni gibi toksik elementlerin hiçbir koşulda bitki dokularında toksisite sınırlarını aşmadığı görülmüştür. Bu durum, özellikle arıtma çamurundan üretilen biyoçar uygulamasının çevresel risk açısından güvenli olduğunu göstermektedir. Literatürde, ağır metal içerebilecek materyallerden üretilen biyoçarların zaman zaman metal mobilitesini artırabileceği yönünde endişeler dile getirilmiştir. Ancak bu çalışmada elde edilen sonuçlar, biyoçarın Cd, Pb ve Ni gibi toksik elementlerin birikimini artırmadığını, aksine bazı durumlarda kontrol uygulamalarına kıyasla daha düşük seviyelere yol açtığını

ortaya koymuştur. Bu bulgu, biyoçarın toprakta ağır metal bağlayıcı ve tamponlayıcı rol üstlendiğini vurgulayan meta-analizlerle uyumludur; örneğin Chen ve ark. (2018) tarafından bildirilen meta-analiz, biyoçar uygulamalarının bitkilerde Cd ve Pb alımını anlamlı şekilde azalttığını göstermiştir.

Toksik elementler açısından sulama rejimleri belirgin bir farklılık yaratmamış, Cd ve Pb konsantrasyonları tüm sulama düzeylerinde 1 ppm'in altında kalmıştır. Dolayısıyla su stresi, toksik metal birikimini hızlandırıcı bir faktör olmamış, yalnızca besin elementlerinin taşınmasında belirli dalgalanmalara yol açmıştır. Bu durum literatürde, silisyumun ağır metal stresini azaltıcı etkileri üzerine yapılmış çalışmalarda da bildirilmiştir; özellikle Khan ve ark. (2021) ile Emamverdian ve ark. (2018) silisyum uygulamasının bitki-toprak ara yüzeyinde metal iyonlarının aktif türlerini azaltarak bitki içi translokasyonu sınırlandırdığı vurgulamaktadır.

5.5 Toprakta Bitkiye Yarayışlı ve Toplam Ağır Metal Konsantrasyonları

Toplam ağır metal konsantrasyonları, farklı sulama rejimleri, uygulamalar ve çim türlerine bağlı olarak dalgalanmalar göstermiş olsa da toksik sınırlara ulaşmamıştır. Al, Fe ve Mn gibi topraklarda doğal olarak yüksek bulunabilen elementlerin konsantrasyonları yüksek seyrederken, Cd, Pb ve Ni gibi toksik elementler düşük seviyelerde kalmış ve çevresel risk oluşturacak birikimler gözlenmemiştir. Bu bulgu, özellikle arıtma çamurundan üretilen biyoçarın topraktaki toplam metal yükünü artırmadığını, hatta bazı durumlarda Cd ve Pb gibi elementlerin konsantrasyonlarını azalttığını ortaya koymaktadır. Silisyum uygulaması da benzer şekilde toprak çözeltisinde metal mobilitesini sınırlayıcı bir rol oynamış, böylece toplam metal birikiminde dengeleyici etki göstermiştir. Literatürde biyoçarın fonksiyonel grupları ve yüksek yüzey alanı sayesinde metal iyonlarını bağlayarak çözünürlüğünü azaltıcı etkisi sıkça rapor edilmektedir (İbrahim ve ark., 2022).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, çim bitkilerinin gelişimini iyileştirmede biyoçar ve silisyum uygulamalarının faydalı olabileceğini göstermiştir. Yine sulama imkanının kısıtlı olduğu alanlarda biyoçar ve silisyum uygulamaları ile daha iyi bir bitki gelişiminin sağlanabileceği saptanmıştır. Bu çalışma hem farklı çim türlerinin hem de farklı sulama rejimlerinin ağır metal alımında önemli rol oynadığını, ancak hiçbir koşulda toksik bir birikimin gerçekleşmediğini ortaya koymuştur.

Silisyum ve biyoçar uygulamalarının ağır metal riskini artırmadığı belirlenmiştir. Özellikle arıtma çamurundan üretilen biyoçarın güvenli bir şekilde kullanılabileceği sonucu, atık bazlı biyoçarın çevre dostu yönetim stratejilerinde ve peyzaj uygulamalarında güvenle değerlendirilebileceğine işaret etmektedir.