

Gerçek Zamanlı Değişken Oranlı Gübre Kontrol Sisteminin Performansının Saptanması

Determining The Performance of Real Time Variable Rate Fertilizer Control System

Bahattin Akdemir^{1,*}, Eray Önler¹

¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): B. Akdemir, e-mail (e-posta): bakdemir@nku.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 29.08.2022
Düzeltilme tarihi : 14.11.2022
Kabul tarihi : 14.11.2022

Anahtar Kelimeler:

Hassas Tarım
Değişken Oranlı Gübreleme
Sensör
Gerçek Zamanlı Uygulama

Atf için:

Akdemir, B., Önler, E. (2023). "Gerçek Zamanlı Değişken Oranlı Gübre Kontrol Sisteminin Performansının Saptanması", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 19(1): 26-35.

ÖZET

Değişken oranlı tarımsal girdi uygulaması hem çevreyi korumak ve hem de gereksiz tarımsal üretim girdisi kullanmayı önlemek için kullanılmakta olan en önemli hassas tarım uygulamalarından birisidir. Bu çalışmada, kamera ile gübre ihtiyacını belirleyen ve santrifüj gübre dağıtma makinalarında değişken oranlı gübreleme yapan kontrol sisteminin performansı saptanmış ve değerlendirilmiştir. Sistem gerçek zamanlı olarak kamera görüntüleri ile yaptığı analiz sonucu bulduğu indis değerlerini dikkate alarak gübre ihtiyacını saptamaktadır. Araştırmada sistemin testleri sabit oranlı ve değişken oranlı gübre uygulama normları için 46-0-0 (N, P, K) kompoze gübresi ile yapılmıştır. Araştırmada yaygın olarak kullanılan 10, 15, 20 ve 25 kg da⁻¹ gübreleme normlarında sistemin performansı incelenmiştir. Araştırma sonucunda sabit gübre normunda sistemin ayarlanan değere göre farkı %0.56 ile %4.42 arasında değişmiştir. Ayarlanan ve ölçülen gübre normu arasında Pearson Korelasyon katsayısı r=0.999 olarak hesaplanmıştır. Yüksek korelasyon katsayısı sistemin ayarlanan değerlere çok yakın miktarda gübre attığını ifade etmektedir. Değişken oranlı gübreleme için denemelerde ayarlanan normlar ile uygulanan gübre normları arasındaki farklar %3.8 ile %5.1 arasında değişmiştir. Sistem laboratuvar testlerinde gerek sabit gübreleme normları için gerekse belirlenen bir senaryo çerçevesinde değişken oranlı gübreleme normları için kabul edilebilir sınırlar içinde değişkenlik göstermiştir. Elde edilen sonuçlar kontrol sisteminin değişken oranlı gübreleme için TS EN 13739-1'de verilen sınırlar içerisinde başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

Article Info

Received date : 29.08.2022
Revised date : 14.11.2022
Accepted date : 14.11.2022

Keywords:

Precision agriculture
Variable rate fertilization
Sensor
Real time application

How to Cite:

Akdemir, B., Önler, E. (2023). "Determining The Performance of Real Time Variable Rate Fertilizer Control System", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 19(1): 15-35.

ABSTRACT

The application of agricultural inputs as variable rate was one of the most important precision agriculture practices in order to both protect the environment and prevent unnecessary usage of agricultural production inputs. In this study, the performance of the variable rate fertilization control system that detects the fertilizer requirement in real time with cameras has been determined and evaluated. The system determines the fertilizer requirement based on the index values determined by the analysis performed with real-time camera images. In the system research, the tests were carried out with 46-0-0 composite fertilizer (N, P, K) composite fertilizer for fixed-rate and variable-rate fertilizer application rates. The performance of the system was investigated for the fertilization rate of 10, 15, 20 and 25 kg da⁻¹. In the tests made for the fixed fertilizer rate, the applied fertilizer rate and the adjusted fertilizer rate varied between 0.56% and 4.42%. Pearson Correlation coefficient between adjusted and applied fertilizer rate was calculated as r=0.999. The high correlation coefficient indicates that the system applied fertilizer very close to the set values. In tests carried out for the variable rate fertilizer rate, the applied fertilizer rate and the adjusted fertilizer rate varied between 3.80% and 5.10%, respectively. In laboratory tests, the system showed variation within acceptable limits of centrifugal fertilizer spreaders for both fixed fertilization rates and the variable rate fertilization scenario. The results show that the control system can be used successfully for variable rate fertilization within the limits given in TS EN 13739-1.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılayabilmek için daha geniş anlamda uluslararası iş birliği, sürdürülebilir tarımsal kalkınma, çevreci yaklaşımlar, tarımsal üretimde ileri teknoloji kullanımı gibi konular üzerinde yoğun bir şekilde durulması gerekmektedir (Cox, 2002). Günümüzde teknoloji sayesinde çiftçiler arazilerine ait ölçümler yapabilmekte, topladıkları verileri analiz ederek arazi üzerindeki değişimleri dikkate alarak üretimi maksimize edebilmektedirler (Blackmore, 1999). Hassas tarım; alışlagelmiş sabit düzeyli diğer bir deyişle üretim yapılacak alanın ölçülen toprak özelliklerinin ortalama değerlerini esas alan tarımsal uygulama yöntemleri yerine, değişken düzeyli uygulamayı esas alan ve genellikle tarlanın 0.4-1.0 hektar (ha) arasında değişen küçük parsellere ayrılmış bölümlerinin gereksinimlerini dikkate alarak yapılan tarımsal işletmecilik ve tarımsal üretim yöntemidir (Davis, 1998). Hassas tarımın karlılığı için önemli bir konu da çiftlik büyüklüğüdür. Sabit maliyetli yatırımları amorti etmek için minimum bir çiftlik büyüklüğü gerekir. Ortalama çiftlik büyüklüğünün önemli ölçüde değiştiği AB genelinde hassas tarımın adaptasyonu için minimum çiftlik büyüklüğü araştırılmıştır. Otomatik yönlendirme sistemlerinin 100-300 ha büyüklüğündeki alanlara uygulandıklarında karlı olduğu saptanmıştır (Frank vd., 2008; Lawes ve Robertson, 2011; Zarco-Tejada vd., 2014). Ülkemizde yapılan bir araştırmada; tarladaki %5, %10, %20 ve %50 değişkenlik aralığı için duyarlık analizi yapılmıştır. Kombine sistemde, 100 ha'lık alanda, İç Anadolu Bölgesinde buğday üretiminde %16.41'lik, Güneydoğu Anadolu'da pamuk üretiminde %3.96'lık ve Çukurova'da mısır üretiminde %4.01'lik denge verim artışıyla hassas tarım maliyetinin karşılanabileceği sonucu elde edilmiştir (Özgüven ve Türker, 2010).

Değişken miktarlı uygulama kavramı ile gübre dağıtma makinası veya ekim makinasının toprağın gereksinimine göre gübre, toprağın yetiştirebileceği miktarda tohum dağıtması veya tarladaki yabancı ot haritasına göre ilaçlamanın yapılması örnekleri verilebilir (Kirişçi vd., 1999; Moore, 1999). Hassas tarımın hedefi sadece verim artışı değil, aynı zamanda verim kaybına yol açmayacak ölçüde girdi kullanımını azaltacak şekilde uygulanmasını içermektedir. Blackmore vd. (1994a), hassas tarımın birçok bileşen ile etkileşim halinde olduğunu belirtmiş ve hassas tarımı oluşturan çeşitli unsurlar arasındaki ilişkilerin tüm bileşenlerinin sadece bir ana amaca hizmet etmediğini, verimliliği artıran unsurlar esas alındığı gibi çevre kirlenmesini asgariye indirecek tedbirler ve kültürel uygulamaların da dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Blackmore vd. (1994b), farklı değişken oranlı gübreleme yapan gübre dağıtma makinalarını kullanmışlar ve değişik N, P ve K kombinasyonlarının bu makinalarla rahatlıkla uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Kimyasal (mineral) gübrelerin bilinçsiz bir şekilde kullanımı ile oluşan çevre kirlenmesi sonucunda bozulan doğa dengesinin yeniden kurulması çok güç olduğundan, bu konuda gerekli önlemlerin acilen alınmasının büyük bir önemi vardır (Bellitürk, 2005). Geleneksel olarak gübre topraktaki değişkenliği dikkate alınmaksızın tüm tarlaya eşit uygulanır. Toprak örnekleri ayrı ayrı alınıp karıştırılarak tek bir örnekmiş gibi analiz edilir ve sonuçta elde edilen verilere göre tek bir gübreleme normu önerilir. Bununla birlikte, hassas tarım teknolojileri ile grid ya da toprak gruplarına bağlı olarak örnekleme ile topraktaki değişkenlik saptanabilir. Bunun sonucunda da değişken miktarlı gübreleme gerçekleştirilebilir (Sındır ve Tekin, 2002).

Gerçek zamanlı azot algılanması ve gübreleme ile ilgili yapılan bir çalışmada, çok spektrumlu bir görüntü sensörü (Multi-Spectral Imaging Sensor-MSIS) değişken miktarlı bir kontrol sistemi ile birlikte kullanılmıştır. Sistem mısır yetiştiriciliğinde azot (N) uygulanması için test edilmiştir. Azot miktarları

ve klorofil değerleri gerçek zamanlı olarak saptanarak azot öneri modeli geliştirilmiş ve uygulanması gereken azot miktarı belirlenmiştir. Çalışma sonucuna göre, MSIS kullanımının ürünlerdeki azot miktarını ve birçok parselde verimi arttırdığı saptanmıştır (Kim vd., 2002).

Kışlık buğdayda yapılan 6 yıllık bir araştırmada; ilkbahar mevsiminde ürün yoğunluğu kullanılarak gerçek zamanlı azot gereksinimi saptanmış ve değişken miktarlı gübre uygulamasından önemli avantajlar elde edilmiştir. Ortalama ekonomik karlılık 22 £ ha⁻¹ ve tüketilen azotlu gübre miktarında ise 1/23 oranında bir tasarruf sağlanmıştır. Araştırma sonuçlarından yararlanılarak oluşturulan verim haritaları ile çiftçilere yardımcı olması için stratejiler geliştirilmiştir (Godwin vd., 2002). Güçdemir vd. (2004), 64 da ve 67 dekar (da) büyüklüğündeki tarlalarda gerçekleştirdikleri çalışmada verim görüntüleme, kayıt sistemi ve uydu bilgisayarı ile kayıt ettikleri verimle birlikte 30-40 metrelik grid (karelaj) noktalarından grid örnekleme yöntemine göre toprak ve bitki örnekleri almışlardır. Toprak, bitki ve yabancı ot değişkenliği georeferanslı olarak haritalanmış ve veriler bir istatistik programı yardımıyla analiz edilmiştir. Bazı toprak özellikleri ile verimin alansal dağılımı her iki deneme alanında da önemli değişkenlikler ve farklılıklar göstermiştir. Verim ile bazı toprak özellikleri arasında ilişkiler bulunmuştur. Topraklarda çinko, fosfor kapsamaları ve yabancı ot yoğunlukları ile verim değerleri arasında ilişkiler istatistiksel bakımdan önemli bulunmuştur. Bu üç parametre içinde değişken oranlı uygulama haritaları oluşturulmuştur. Bongiovanni ve DeBoer (2000), değişken oranlı gübre stratejilerinin ortaya konulması amacıyla ürün azot etkisini belirlemek için verim izleme verilerinin mekansal regresyon analizlerini kullanmışlardır. Bu amaçla Arjantin'de mısır üretiminde en çok uygulanan azot dozu dikkate alınmış ve alana özgü ürün cevap fonksiyonlarını tahmin etmek için tarla denemeleriyle elde edilen ürün verimleri kullanılmıştır. İlk yıl verilerine göre azotun arazi şekline göre uygulama etkisinin önemli oranda farklılık gösterdiği ve değişken oranlı gübre uygulama teknolojisinin, maliyetine bağlı olarak azot için üniform uygulama şekli olan 80 kg da⁻¹'dan daha karlı bir uygulama şekli olacağını göstermişlerdir.

Azot, doğru kullanıldığında verimde önemli artışlar sağlar. Aşırı ve az kullanıldığı durumlarda verim kayıplarına neden olduğu gibi yine aşırı kullanımı yeraltı ve yerüstü sularının da kirlenmesine de yol açmaktadır (Mills ve Jones, 1979). Frantzen (1999), azot uygulamaları için işletmecilik alt bölgelerini; hava fotoğrafı, uydu görüntüleri, toprak elektriksel geçirgenliği (EC), verim haritaları gibi birçok yöntemi kullanarak oluşturmuşlardır. Toprak elektriksel geçirgenliğini ölçen sensörlerin, disk toprak elektrotu veya EM38 manyetik endüksiyonu ile yönetim bölgelerinin belirlenmesine yardımcı olabileceği açıklanmıştır. Bu çalışmanın sadece azot için değil fosfor, potasyum gibi diğer besin maddelerinin gübrenmesine de olanak tanıyacağını, doğru yorumlama yapabilmek için değişik toprak parametreleri ile toprak EC'si arasındaki ilişkinin kurulmasının önemli olduğu belirtilmiştir.

Tarladaki değişen ürün azot (N) talebini belirlemek için doğru ve verimli araçların kullanılması gereklidir. Mevcut toprak ve bitki analiz yöntemlerinin gerekli mekânsal çözünürlükte gerçek azot talebi hakkında veri sağlamada kullanımının oldukça maliyetli ve zaman alıcı olduğu kanıtlanmıştır. Türker ve Güçdemir (2018) mısırdaki N sensörü kullanarak verimde herhangi bir kayıp olmadan azotdan %20 tasarruf sağlamışlardır. Çeltik (*Oryza sativa* L.) üretimi için değişken oranlı bir gübre aplikatörünün performansını değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Sensörün tarla performansı farklı azot seviyelerinde (N1 ile N4, 75, 125, 175 ve 225 kg ha⁻¹), büyüme aşamalarında (kardeşlenme, başaklanma) ve bitkiden farklı yüksekliklerde (40, 60, 80 ve 100 cm) değerlendirilmiştir. Sistem tarafından uygulanan toplam gübre miktarında önerilene göre %45 azalma saptanmıştır (Mirzakhani-fchi vd., 2022).

Diskli gübre dağıtma makinaları için DC motorla kontrol edilen değişken oranlı kontrol sistemi geliştirilmiştir. Prototip olarak geliştirilen değişken oranlı kontrol sistemine sahip gübre dağıtma makinasının testleri laboratuvarında ve tarlada yapılmış ve sistem başarıyla çalıştırılmıştır (Tekin, 2005). Ülkemizde yapılan bir çalışmada; çiftçinin uyguladığı alışlagelmiş homojen gübre uygulaması yerine, bitkinin ihtiyacına uygun belirlenmiş miktarları konuma göre uygulayan diskli gübre dağıtma makinası ile çalışan değişken düzeyli gübre uygulama kontrol sistemi geliştirilmiştir. Araştırmada materyal olarak santrifüjlü gübre dağıtma makinası, step motor, değişken düzeyli kontrol sistemi, GPS ve uygulama haritası programı kullanılmıştır. Ayrıca laboratuvar testleri için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrol sistemi çiftçiler tarafından yaygın olarak kullanılan 15-15-15 (N-P-K), %46 Üre, 20-20-0 (N-P-K) ve %33 Amonyum Nitrat gübreleri için test edilmiştir. Geliştirilen kontrol sistemi testler sırasında sorunsuz olarak çalışmıştır (Akdemir vd., 2018). Yinyan vd. (2018a) değişken oranlı kontrol sistemine sahip bir gübre serpme makinası geliştirmişlerdir. Sistem yansıma esaslı bir sensörden aldığı verilere göre diskli gübre dağıtma makinalarında gübre miktarını kontrol etmek için bir step motorla tahrik edilen bir sistem kullanılmıştır. Çalışmalarında, geliştirilen sistemin performansını ve gübre dağılım homojenliğini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Sonuçlar, kanat eğim açısındaki artışla gübre dağılımının düzensiz bir şekilde değiştiğini göstermiştir. Ayrıca disk yüksekliği arttıkça varyasyon katsayısının azaldığı saptanmıştır. Yinyan vd. (2018b) değişken oranlı gübreleme kontrol sisteminin hızlı tepki verme yeteneğini geliştirmek ve bir santrifüj değişken oranlı serpme makinasında gübre sistemine karşılık gelen hataları azaltmak için farklı aktüatörler kullanarak uygulama hızını ayarlayabilen üç cihaz geliştirmişlerdir. Bunlar dişli ve kremayer yapısı A, elektrikli el burğu yapısı B ve vidalı sürgü yapısı C olarak tanımlanmıştır. Test sonuçları A, B ve C aktüatörleri için ortalama gecikme mesafesinin $LA > LC > LB$ olarak sıralandığını ve ilgili değerlerin sırasıyla 3.56, 2.72 ve 1.85 m olduğunu göstermiştir. Gecikme düzeltme süreleri sırasıyla 1.99, 1.74 ve 1.48 s olarak belirlenmiştir.

Sıraya gübre atma makinasına modifiye edilmiş değişken oranlı bir granül gübre sisteminin performansını belirlemeye yönelik yürütülen bir çalışmada gübre değişkenlik katsayısı ve tepki süresi dikkate alınmıştır. Sonuçlara göre, enterpolasyon doğruluğu 0.94 (R^2) olarak belirlenmiştir. Tepki süreleri, en düşük gübre miktarından en yüksek miktara ve en yüksekte en düşük miktara geçiş oranları 1 m s^{-1} ilerleme hızında sırasıyla 4.44 ve 4.63 s olarak hesaplanmıştır. Varyasyon katsayısı, gübre uygulama normunun 0 kg ha^{-1} dan 150 kg ha^{-1} a artışı için %6.44 ile %26.25 olarak saptanırken, 150 kg ha^{-1} 'dan 0 kg ha^{-1} azalışı için %10.45 ile %81.3 arasında saptanmıştır. Gübre dağıtma ünitelerinin gübre uygulama normu açısından aralarındaki varyasyon katsayısı (CV) artan ve azalan uygulama normları için sırasıyla %10.11 ila %36.15 ve %11.15 arasında %117.89 gerçekleşmiştir (Türker vd., 2019).

Uzaktan algılama teknolojisinde yeşil bitki örtüsünün izlenmesinde en çok kullanılan araçlardan biri Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) verileridir. NDVI, yakın kızıl ötesi (NIR) ve kırmızı (RED) ışık dalga boyunda algılama yapan bantlardan hesaplanmaktadır. Bu iki dalga boyunun matematiksel modellemesi ile oluşturulan NDVI, bitkilerin biyokütle miktarı ve yaprak alan indeks değerinin ana göstergesi olarak kabul edilmekte ve büyüme döneminde bitki gelişimini izlemek ve verimi tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır (Tucker, 1979).

Bu çalışmada; santrifüj gübre dağıtma makinalarında kameralar ile gerçek zamanlı olarak gübre ihtiyacını saptayan değişken oranlı gübreleme kontrol sisteminin performansı değerlendirilmiştir. Sistemin performansı sabit oranlı ve değişken oranlı gübre uygulama normları için araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

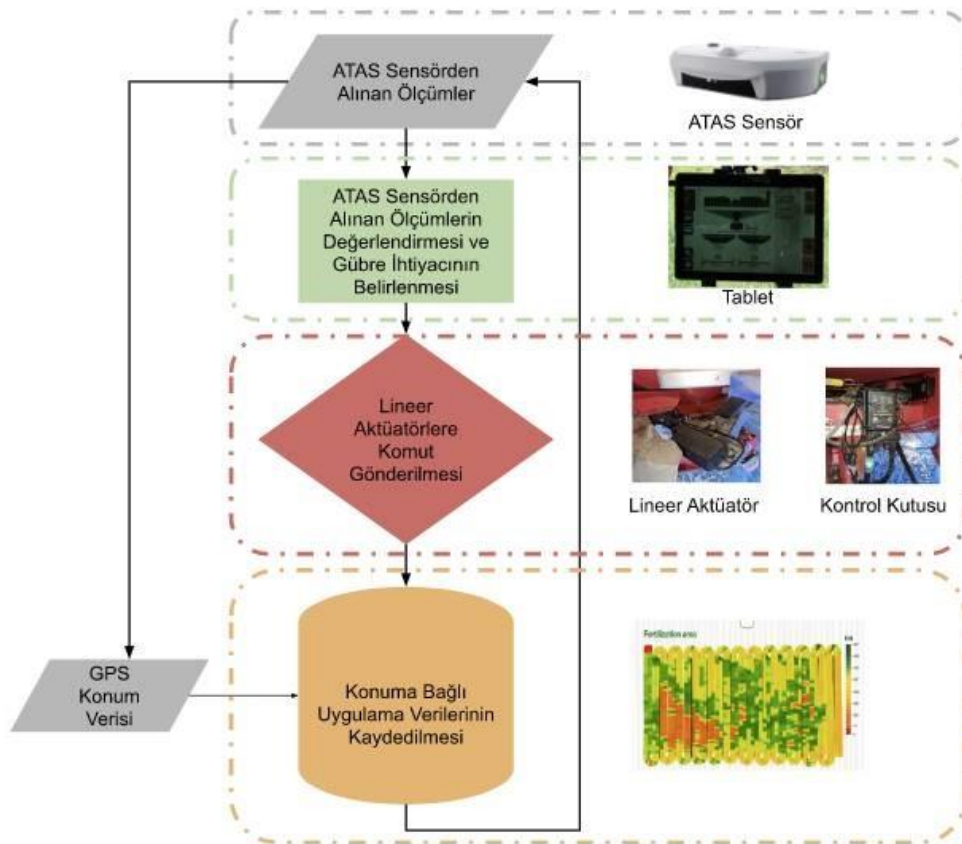
2.1. Materyal

2.1.1. Değişken oranlı gübre uygulama sistemi

Gerçek zamanlı değişken oranlı uygulama yapan sistemin ana unsurları ve kullanım amaçları aşağıda sıralanmıştır.

- Sensör: Kameralar ile bitkiden aldığı görüntüyü işleyerek gübre ihtiyacının saptanması için bir indis geliştirir.
- Yazılımı içeren tablet: Sensörden gelen indis değerlerine göre aktüatörlerin hareketini sağlar.
- Gübre serpmeye ünitesine yerleştirilen lineer aktüatörler: Gübrenin aktığı açıklığı kontrol ederek atılan gübre miktarını ayarlar.
- Kontrol kutusu: Gerçek zamanlı değişken oranlı uygulama yapan sistemden gelen komutları lineer aktüatörlere iletir.
- Kablolar ve enerji bağlantıları.

Sistem, traktörün ön tarafına bağlanmakta ve tarla bitkilerinde azot ihtiyacını kamera ile tespit etmektedir. Gübre ihtiyacı gerçek zamanlı olarak traktörün arkasındaki diskli gübre serpmeye makinası üzerindeki elektrikli aktüatörlere iletilmekte ve gerçek zamanlı olarak farklı gübre normları uygulanabilmektedir (Şekil 1). Gübre uygulama normları sistemde bulunan GPS'ten elde edilen koordinatlar ile eşleştirilerek tablet hafızasına kaydedilmektedir.



Şekil 1. Değişken oranlı gübre uygulama sisteminin akış şeması ve parçaları (Augmenta, 2022)

Gerçek zamanlı değişken oranlı gübre kontrol sistemi (ATAS -Augmenta Tarla Analiz Sistemi) tarla ortamında ilk kez çalıştırıldığında tablet arayüzüne girilmesi gereken bilgiler:

- Yetiştirme mevsimi,
- Bitki gelişim seviyesi,
- İdeal koşullar için gübre normu,
- Bitki türü,
- Gübre çeşididir.

Sistem çalıştırılarak traktör ilerlemeye başladığı anda ATAS, hıza duyarlı olacak şekilde sabit oranda gübre uygulaması yapabilmektedir. İlk 50-75 m yol kateden ATAS havanın ve bitkinin durumuyla ilgili bilgileri (sis, bitki üzerinde bulunabilecek çiğ, ışık koşulları vb.) alarak işler ve öğrenme sürecinin ardından bitkinin azot ihtiyaç dengesine göre ilk başta girilen gübre normu değerinde uygulama yapmaya başlamaktadır.

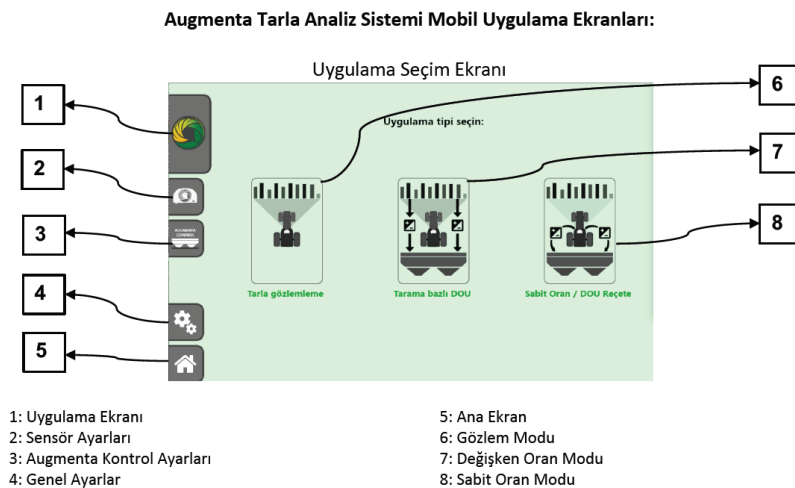
Sistemin kalibrasyon aşamaları:

1. Sensör açılır ve bilgisayar aracılığıyla yazılımın (Augmenta Configuration) ayarları yapılır.
 2. Sensörün yerden yükseklik bilgisi girilir.
 3. Kamera kalibrasyonu yazılım tarafından otomatik olarak gerçekleştirilir.
 4. Sensör ve gübre serpme diski arasındaki uzaklık girilir.
 5. Motorların hareketleri kontrol edilir.
 6. Motorların minimum ve maksimum değerleri kaydedilir. Sağ ve sol lineer aktüatörler sırası ile maximum strok değerine kadar açılır, bu değer lineer aktüatörün fiziksel olarak geldiği limitlere istinaden geri bildirim yaptığı rakamsal konum değeridir. Yazılım üzerinden kaydedilir, sonra kapatılır ve bu değer lineer aktüatörün fiziksel olarak geldiği limitlere istinaden geri bildirim yaptığı rakamsal konum değeridir. Bu rakam ilgili lineer aktüatörün kendi konumunu verdiği (LINAK marka) rakamsal yaklaşık 0-3900 arası bir değerdir. Herhangi bir birimi yoktur. Ancak aktüatörün strok uzunluğunun 200 mm olması durumunda kabaca 1 birim yaklaşık 0,05 mm'yi ifade etmektedir.
 7. Fiziksel skala ile yazılım üzerinden açma ve kapama değerleri kontrol edilir.
 8. Gübre kalibrasyonu için her bir gübre deposuna en az 150'şer kg granül gübre eklenir ve operasyon şartlarında çalıştırılır.
 9. Denemelerde çalışma koşulları için imalatçı firmanın önerileri dikkate alınmıştır. (Ör. Serpmedeki diskler yerden 80 cm yükseklikte olmalı, shaft 540 d/dk ile çalışmalı vb.). Sistemde daha önceden kalibrasyonu yapılmış gübre seçilir.
 10. Tabletteki yazılım ara yüzü ile kalibrasyon başlatılır ve kalibrasyon atılması gereken gübre miktarına yaklaşıncaya kadar tekrarlanır.
- Kalibrasyon ekranında yazılım tarafından atılması planlanan gübre miktarı yazmaktadır. Uygulamada atılan gübrenin ağırlığı elektronik kantar ile tartılarak bu değer ekrana girilir. Kalibrasyon yapılarak, sistemin belirlediği gübre miktarı ile ölçülen gübre miktarının birbirine yakın olması sağlanır. Kalibrasyon ile seçilen gübre tipi için "uygulama profili" oluşturulmaktadır.
- Augmenta Tarla Analiz Sistemini (ATAS) oluşturan kamera, yazılım, tablet, lineer aktüatör ve kontrol kutusunun teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

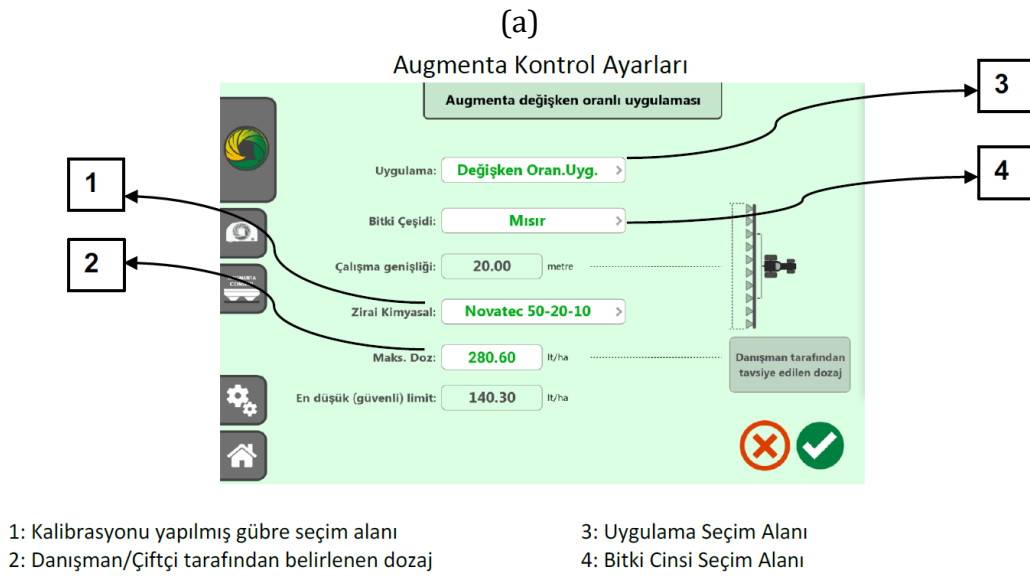
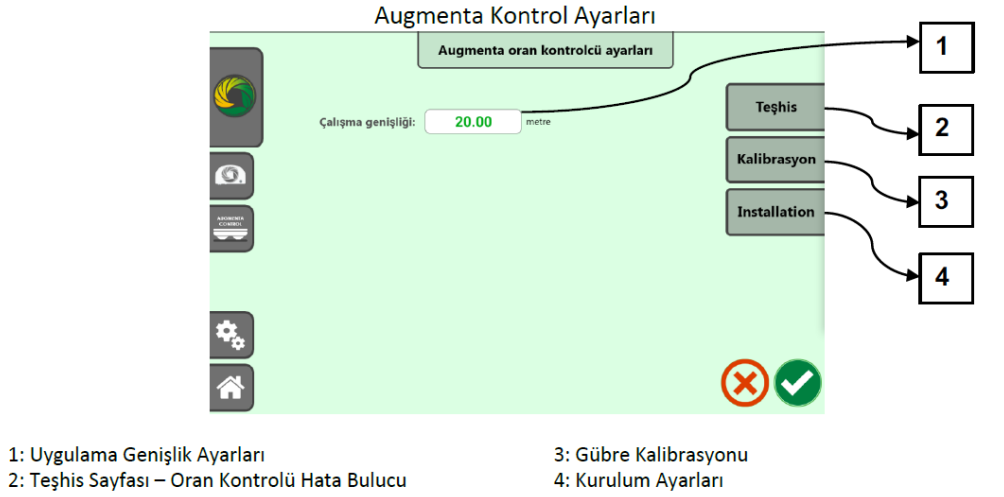
Çizelge 1. Kameranın teknik özellikleri

Genel	Çalışma genişliği	4 m yükseklik için 40 m
	Çalışma yüksekliği	1.5- 5m arası
	Traktör çalışma hızı	Maksimum 40 km h ⁻¹
	Çalışma ortam sıcaklığı	-20 °C ...45 °C arası
	Çalışma ortam nemi	%75 yoğunlaşmamış nem
	Çalışma aydınlık seviyesi	Minimum 400 lux
Ön kısım	Kamera sensörü	4K kalitede 3 kamera sensörü
	Spektrum filtreleme yapılan dalga boyları	(CWL650, CWL780, IRCUT)
	Görüş açısı	110°
Üst kısım	Kamera sensörü,	4K kalitede 1 kamera sensörü
	Görüş açısı	180°
	Ortam ışık ölçümü	Ortam ışık seviye sensörü
Bağlantı	GSM bağlantısı	Global 4G/LTE, 3G ve 2G ağlara uyumlu - Nano SIM
	GPS bağlantısı	Gömülü GNSS çipi
	Wi-Fi bağlantısı	Sistem ile verilen tablet ile Wi-Fi bağlantısı vardır
	Bağlantı portları	Ethernet
Enerji	Çalışma voltajı	12 V DC
	Enerji sarfiyatı	~36 W (normal) ~70 W (normal) / 120 W (en yüksek)
	Enerji soketleri	Augmenta Manuel Enerji soketleri

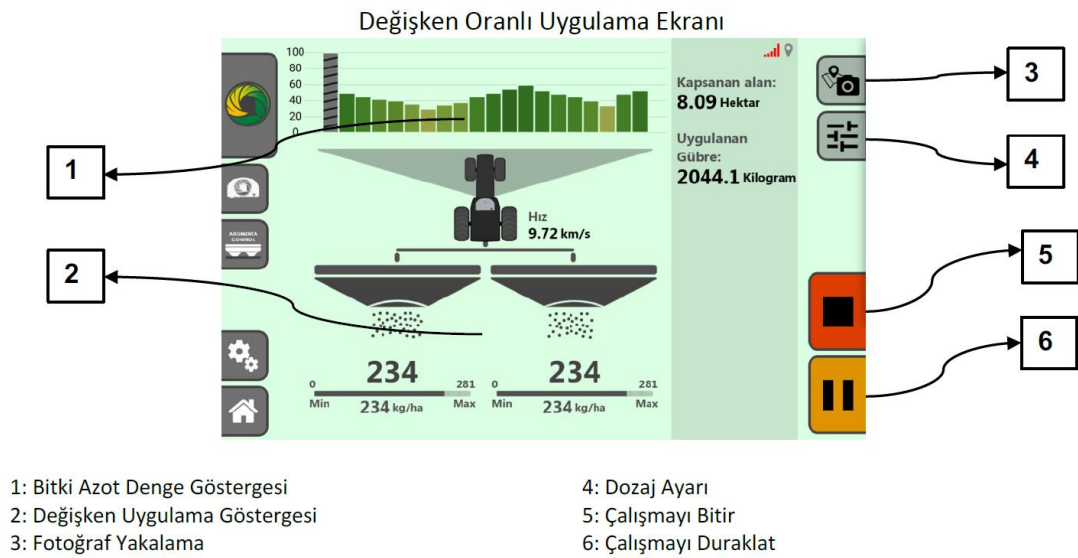
Yazılım: Android tabanlı bir mobil uygulama programı olan Augmenta Tarla Analiz Sisteminde (ATAS) uygulama seçim ekranı Şekil 2’de, Augmenta kontrol ayarları Şekil 3’te, değişken oranlı uygulama ekranı Şekil 4’te, değişken oranlı uygulama çalışma özet ekranı Şekil 5’te ve teşhis sayfası-oran kontrolü hata bulucu Şekil 6’da verilmiştir.



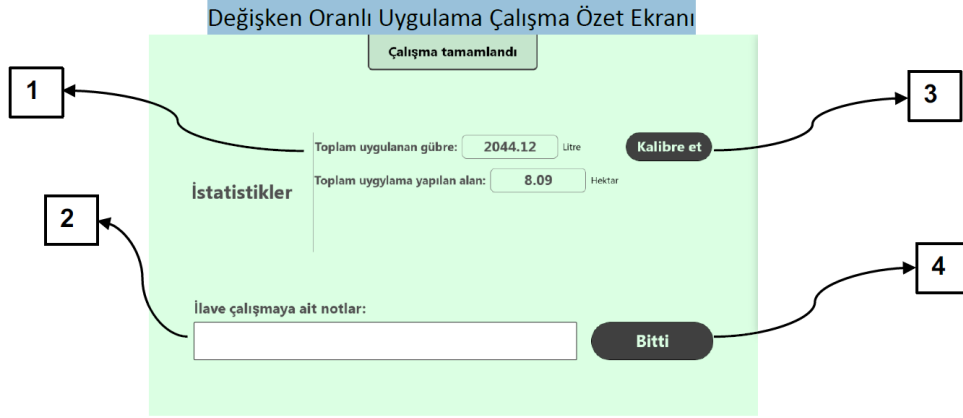
Şekil 2. Uygulama seçim ekranı (Augmenta, 2022)



Şekil 3. Kontrol ayarları (Augmenta, 2022) (a) oran kontrol ayarları (b) değişken oranlı uygulama



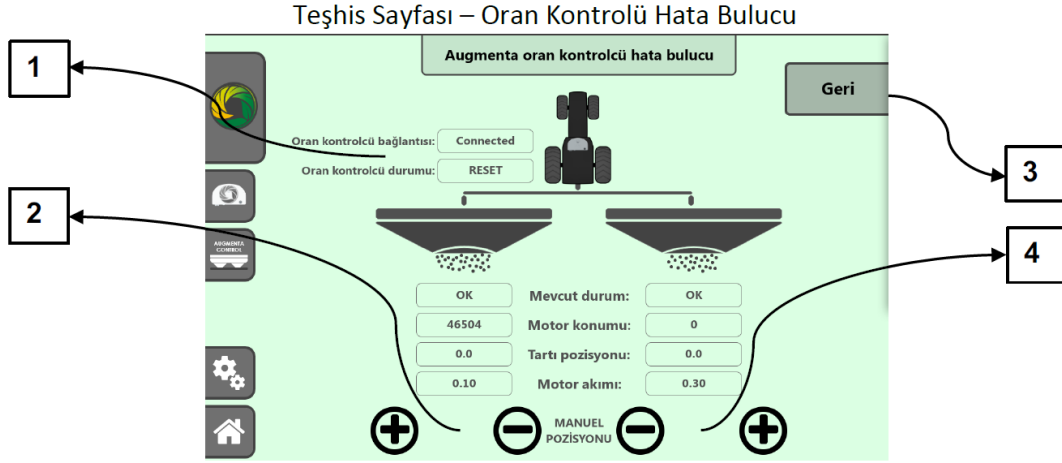
Şekil 4. Değişken oranlı uygulama ekranı (Augmenta, 2022)



1: DOU Çalışmaya Ait Özet Bilgiler
2: Çalışmaya ait eklenecek notlar (varsa)

3: Uygulama sonucu ile gerçekleştirilecek kalibrasyon seçeneği
4: Bitirme / Ana Sayfaya dönme butonu

Şekil 5. Değişken oranlı uygulama çalışma özet ekranı (Augmenta, 2022)



1: Bağlantıya ilişkin bilgiler
2: Sol Serpme Gözü Aç/Kapa

3: Teşhis Sayfasından çıkış
4: Sağ Serpme Gözü Aç/Kapa

Şekil 6. Teşhis sayfası – Oran kontrolü hata bulucu (Augmenta, 2022)

Tablet: Lenovo Tab E10 android tablet kullanılmıştır.

Lineer Aktüatör: Gübre serpmeye ünitesine monte edilen lineer aktüatörler LINAK LA 12 tip aktüatördür. Özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Lineer aktüatörün teknik özellikleri

<i>Tip</i>	<i>12xx00-1xxx12xx</i>
<i>Mil adımı (mm)</i>	2
<i>Maksimum çekme/itme kuvveti (N)</i>	750
<i>Maksimum yük akımı (A)</i>	4.6

Kontrol kutusu: ATAS'tan gelen komutları lineer aktüatörlere ileten kontrol kutusunun özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kontrol kutusunun özellikleri

<i>Kontrol kutusu:</i>	<i>Ecu Ünitesi</i>
<i>Çalışma voltajı:</i>	12VDC
<i>Enerji tüketimi</i>	~36 W (normal) / 80 W (anlık)
<i>Bağlantılar</i>	SideA: DT serisi 12 pin priz, Augmenta Sistemine bağlantı SideB: DT serisi 12 pin priz, Elektrikli Aktüatörlere bağlantı

2.1.2. Diskli gübre dağıtma makinası

AXIS RAUCH 30.1 çift diskli gübre dağıtma makinası testlerde kullanılmıştır (RAUSCH, 2022). Sistem bu makina üzerine kurulmuştur (Şekil 7). Çift diskli gübre dağıtma makinasının teknik özellikleri Çizelge 4'de verilmiştir.



Şekil 7. Çift diskli gübre dağıtma makinası

Çizelge 4. Çift diskli gübre dağıtma makinasının teknik özellikleri

<i>Özellik</i>	<i>Boyut</i>
<i>Toplam genişlik</i>	240 cm
<i>Toplam uzunluk</i>	145 cm
<i>İş genişliği</i>	12-42 m
<i>Kuyruk mili devri</i>	450-650 d/dk
<i>Depo kapasitesi</i>	1200 l

2.1.3. Gübre

Araştırmada üre (46-0-0) gübresi (Beyaz inci, Gübretaş, TR) kullanılmıştır. Azotun kütle oranı %46'dır (Anonim, 2022).

2.2. Yöntem

Değişken oranlı gübreleme kontrol sisteminin testleri sabit ve değişken oranlı gübre uygulama normları için 46-0-0 (N, P, K) kompoze gübresi ile yaygın olarak kullanılan gübreleme normları olan 10, 15, 20 ve 25 kg da⁻¹ için yapılmıştır.

Değişken oranlı gübreleme kontrol sistemi için 3 farklı test planlanmıştır. Bu testlerde sistemin sabit gübreleme normunda ve değişken oranlı gübreleme normunda attığı gübre miktarları ile ayarlanan değerler arasındaki farklar saptanmıştır. TS EN 13739-1 standardına göre ayarlanan akış debisi ile ölçülen akış debisi arasında maksimum izin verilen yüzde (%) sapma değerleri <25 kg dk⁻¹ akış debisi için %15, 25-150 kg dk⁻¹ arası için %10 ve >150 kg dk⁻¹ için %7.5 olarak bildirilmektedir (TSE, 2012; Önal vd., 2007).

Ayrıca sistem tarlada çalıştırılarak gübre atmadan ve değişken oranlı gübre uygulayarak saptadığı indeks değerleri ve attığı gübre miktarı değerleri belirlenmiştir.

2.2.1. Sabit gübre normu testleri

Değişken oranlı kontrol sisteminin sabit gübre normu testleri için, gübre dağıtma makinasının diskleri sökülerek traktöre bağlanmış ve 15 kg da⁻¹, 20 kg da⁻¹ ve 25 kg da⁻¹ gübreleme normları için kalibre edilmiştir. Sistem en az 30 saniye süreyle çalıştırılmış ve testler 3 tekrarlı yapılmıştır (Anonim, 1999; Önal, 2017). Gübrenin kütleli debisini belirlemek için 44 saniye akış sağlanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Gübre norm testleri

Tartılarak belirlenen kütleli akış debileri ile ayarlanan gübre normu için yazılım tarafından belirlenen kütleli akış debileri arasındaki farklılıklar yüzde (%) olarak saptanmıştır. Negatif değerler için mutlak değer dikkate alınmıştır. Testlerde gübre akışının kütleli debisi saptandığı için elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde TS EN ISO 13739-1-2 Tarım Makinaları – Katı Gübre Yayıcılar ve Tam Genişlikteki Gübre Dağıtıcıları standardı kullanılmıştır. EN 13739-1/2 normuna göre, akış debisinden maksimum sapma 25-150 kg dk⁻¹ akış debisi aralığında maksimum %10 değerini aşmaması yeterli görülmektedir (Önal vd., 2007).

Ayarlanan ve uygulanan gübre normu arasındaki ilişki regresyon eğrisinde gösterilmiş ve regresyon katsayısı (R²) hesaplanmıştır.

2.2.2. Değişken oranlı gübreleme testleri

Değişken oranlı gübre uygulama testleri 15 kg da⁻¹, 20 kg da⁻¹ ve 25 kg da⁻¹ gübreleme normlarında yapılmıştır. Testler kapalı ortamda gerçekleştirilmiştir. Normal işletme koşulları dikkate alınarak

traktörün ilerleme hızı 11.99 km h^{-1} ve makinanın iş genişliği 15 m olduğu kabul edilmiştir. Gübre dağıtma makinasının diskleri sökülmüş ve sağ ve sol taraftan dökülen gübreler ayrı ayrı ölçülmüştür. Ölçümler 60 saniye süreyle 4 tekerrürlü yapılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Değişken oranlı gübre uygulama testleri

Deponun sağ ve sol disk açıklıklarından dökülen gübreler tartılarak aralarındaki fark hesaplanmıştır. Ayrıca belirtilen gübre normlarını içeren senaryo için yazılımın hesapladığı toplam gübre miktarı ile ölçümle bulunan gübre miktarları arasındaki fark kg ve yüzde (%) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen kütleli debi değerleri Önal vd. (2007)'ye göre değerlendirilmiştir.

2.2.3. Değişken oranlı gübreleme tarla testleri

Tarla denemeleri 7 Mayıs 2022 tarihinde Tekirdağ Yayabaşı köyünde buğday ekili bir arazide yapılmıştır. Sistemin tarla çalışma performansı gübre uygulanmadan ve değişken oranlı gübre uygulaması yapılarak belirlenmiştir (Şekil 10 ve Şekil 11).



Şekil 10. Buğday tarlasının uydudan alınmış ve deneme sırasındaki görüntüleri (Google Earth, 2022)



Şekil 11. Buğday tarlasında değişken oranlı gübre uygulaması

Denemeler tarlada bulutlanma ve güneşlenmenin değiştiği zaman dilimlerinde yapılmıştır. Bunun için aydınlanma şiddeti lüksmetre (Lutron, LX101, Tayvan) ile ölçülmüştür. Aydınlik şiddeti ölçümleri yerden ~1.5 m yükseklikte yapılmıştır.

Tarla şartlarında değişken oranlı gübre uygulama sistemi öncelikle gübre uygulamadan tarlada çalıştırılmış ve AUG INDEX değerleri saptanarak tarladaki değişkenlik belirlenmiştir. AUG Index, kameralar ile elde edilen görüntülerin analiz edilmesiyle belirlenen ve bitkide azot düzeyini gösteren 0 ve 1 arasında değişen bir indistir. Denemede elde edilen AUG-INDEX değerleri ve gübre uygulama normları (kg da^{-1}) coğrafi konuma bağlı olarak saptanmış ve kaydedilmiştir. Veriler için minimum, maksimum, ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı tanımlayıcı istatistik olarak hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen değerler ile AUG-INDEX haritası ve gübre uygulama haritaları Surfer programı kullanılarak oluşturulmuştur.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Sabit Gübre Norm Test Sonuçları

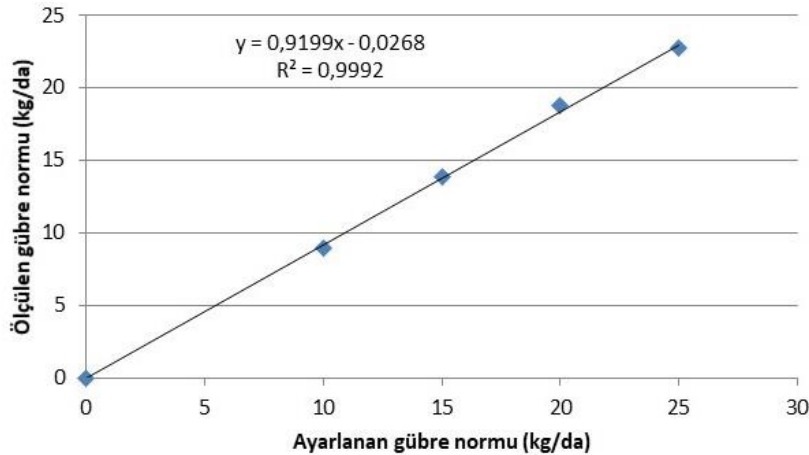
Sabit gübre norm test sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Sistemin sabit gübre norm test sonuçları

Gübre Normu (kg da^{-1})	1. Tekerrür		2. Tekerrür		3. Tekerrür		Ortalama			
	ATAS (kg)	Tartı (kg)	ATAS (kg)	Tartı (kg)	ATAS (kg)	Tartı (kg)	ATAS (kg)	Tartı (kg)	Fark (%)	Mutlak Fark (%)
10	20.02	18.70	19.40	17.80	19.42	19.85	19.61	18.78	4.42	4.42
15	29.44	29.35	30.19	31.10	29.48	26.95	29.70	29.13	1.96	1.96
20	38.14	39.90	38.99	39.35	38.71	38.70	38.61	39.32	-1.79	1.79
25	47.46	46.79	48.70	48.15	48.65	48.20	48.27	47.71	0.56	0.56

Sabit gübre norm test sonuçlarına göre ortalama olarak ATAS tarafından hesaplanan ve ölçülen gübre miktarları arasındaki farklar %0.56 ile %4.42 arasında değişmiştir. Bu değerler EN 13739-1/2 normunda belirtilen %10'dan daha küçük olduğu için kontrol sistemi kabul sınırları içinde çalışmıştır.

Atılan ve ATAS tarafından hesaplanan gübre normları arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ve grafiğin regresyon denklemi Şekil 12' de verilmiştir.



Şekil 12. Ayarlanan ve uygulanan gübre normu arasındaki regresyon eğrisi ve R^2 değeri

Ayarlanan ve ölçülen gübre normları arasındaki Pearson Korelasyon katsayısı $r=0.999$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Şekil 12'den de görüleceği gibi ayarlanan ve ölçülen gübre normları arasındaki ilişki doğrusal olarak saptanmıştır. R^2 değeri de 1'e çok yakın olarak hesaplanmıştır. Bu da sistemin ayarlanan değerlere çok yakın gübre attığının bir göstergesidir.

3.2. Değişken Oranlı Gübre Uygulama Test Sonuçları

Değişken oranlı gübre uygulaması için yapılan ve 60 saniyede sol ve sağ taraftan atılan gübre dağıtma makinası testinin sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

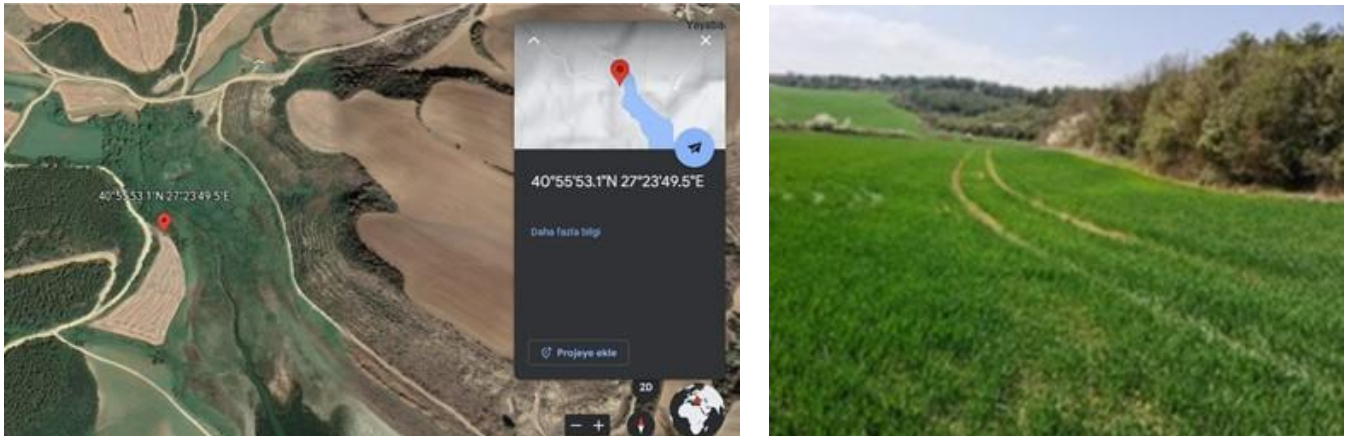
Çizelge 6. Değişken oranlı gübre uygulaması için yapılan testin sonuçları

<i>Gübre debisi (kg dk⁻¹)</i>	<i>Tekerrürler</i>				<i>Ortalama</i>
	1	2	3	4	
<i>Sol disk için gübre miktarı</i>	30.20	29.30	29.50	29.90	29.73
<i>Sağ disk için gübre miktarı</i>	28.70	29.60	29.20	28.20	28.93
<i>Sağ ve sol disk arası fark</i>	1.50	0.20	0.20	1.70	0.90
<i>Toplam gübre debisi</i>	58.90	58.90	58.70	58.10	58.65
<i>Hesaplanan gübre debisi</i>	61.20	61.20	61.20	61.20	61.20
<i>Hesaplanan ile ölçüm farkı</i>	2.30	2.30	2.50	3.10	2.55
<i>Hesaplanan ile ölçüm farkı (%)</i>	3.80	3.80	4.10	5.10	4.17

ATAS sisteminin verilen belirli değişken oranlı gübre uygulama senaryosu çerçevesinde atılan toplam gübre miktarları test sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda elde edilen % fark değerleri %3.80 ile %5.10 arasında değişmiştir. Ortalaması fark değeri %4.17 olarak saptanmıştır. Bu sapma değerleri gübre için verilen %10 sapma değerlerinin çok altındadır (Önal vd., 2007). ATAS değişken oranlı gübrelemeyi gerçekleştirmek için gübre dağıtma makinasını başarılı bir şekilde kontrol etmiştir.

3.3. Değişken Oranlı Gübre Sisteminin Tarla Uygulaması

Uygulama yapılan tarlanın Google Maps'den alınan uydu görüntüleri ve fotoğrafı Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. Buğday tarlasının Google Earth ve deneme sırasındaki görüntüleri

Yerden ~1.5 m yükseklikte Lutron LX101 luxmetre ile ölçülmüş olan aydınlama şiddeti değerleri 39500- 106 000 lüks arasında değişmiştir.

Denemede elde edilen AUG-INDEX değerleri konuma bağlı olarak saptanmış ve değişken oranlı gübreleme uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 7’de ve tanımlayıcı istatistikler ise Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 7. AUG-INDEXE bağlı değişken oranlı gübreleme kayıtları

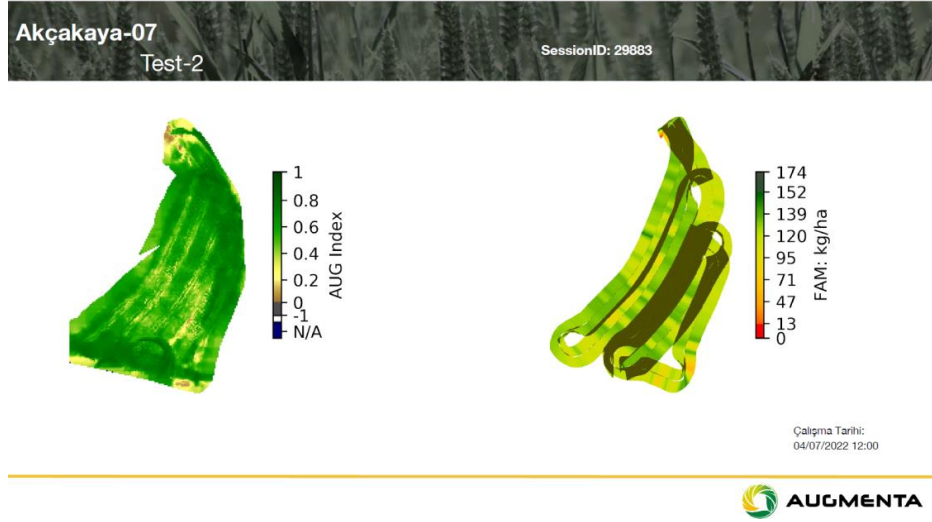
<i>Tarih</i>	<i>Saat</i>	<i>Enlem(°)</i>	<i>Boylam(°)</i>	<i>Aug-Index</i>	<i>Dozaj (kg da⁻¹)</i>
7.04.2022	12:00:42	40.931418	27.397086	0.6621645	0.000000
7.04.2022	12:00:42	40.931416	27.397087	0.6570815	0.000000
7.04.2022	12:00:42	40.931413	27.397090	0.6578420	1.191960
7.04.2022	12:00:43	40.931413	27.397090	0.6586005	1.090207
7.04.2022	12:00:43	40.931413	27.397090	0.6630775	3.657392
7.04.2022	12:00:43	40.931413	27.397090	0.6658435	8.314263
7.04.2022	12:00:43	40.931405	27.397097	0.6697705	15.223777
7.04.2022	12:00:44	40.931403	27.397098	0.6744175	14.753908
7.04.2022	12:00:44	40.931401	27.397100	0.6769230	14.389816
...
..
7.04.2022	19:03:03	40.931495	27.396991	0.1740315	10.519994
7.04.2022	19:03:03	40.931497	27.396989	0.1626590	10.605118
7.04.2022	19:03:03	40.9315	27.396984	0.1585195	10.917701
7.04.2022	19:03:03	40.9315	27.396984	0.1576190	11.094238

Çizelge 8. AUG-INDEX değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	<i>AUG-INDEX</i>	<i>Gübre Normu (kg da⁻¹)</i>
Minimum	0.094	0.000
Maksimum	0.743	17.298
Ortalama	0.587	9.948
Standart sapma	0.126	6.340
Varyasyon Katsayısı (%)	21.539	63.731

Tanımlayıcı istatistiklerden de görüldüğü gibi AUG-INDEX verileri 0.094 ile 0.743 arasında değişmekte ve varyasyon katsayısı ise %21.539 olarak belirlenmiştir. Gübre normu değerleri incelendiğinde ise değerlerin 0 ile 17.298 kg da⁻¹ arasında değiştiği ve varyasyon katsayısının ise %63.731 olduğu saptanmıştır.

AUG-INDEX değerlerinin sistemin yazılımı tarafından oluşturulan haritası ve değişken oranlı gübreleme uygulamasına ait harita Şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 14. AUG indeks ve değişken oranlı gübre uygulama (kg ha⁻¹)

4. SONUÇ

Bu araştırmada; santrifüj gübre dağıtma makinalarında sensörlü kamerayla değişken oranlı gübreleme yapan kontrol sisteminin performansı değerlendirilmiştir. Sistem gerçek zamanlı olarak kamera görüntüleri ile yaptığı analiz sonucu saptadığı indis değerlerine göre gübre ihtiyacını saptamaktadır. Kontrol sisteminin testleri sabit oranlı ve değişken oranlı gübre uygulama normları için 46-0-0 (N, P, K) üre gübresi ile 10, 15, 20 ve 25 kg da⁻¹ gübreleme normlarında yapılmıştır. Araştırma sonucunda, sabit gübre norm test sonuçlarına göre, ortalama olarak ATAS tarafından hesaplanan ve ölçülen gübre miktarları arasındaki farklar %0.56 ile %4.42 arasında değişmiştir. Değişken oranlı gübreleme için denemelerde ayarlanan normlar ile uygulanan gübre normları arasındaki farklar %3.80 ile %5.10 arasında değişmiştir. Bu değerler EN 13739-1/2 normunda belirtilen %10'dan daha küçük olduğu için kontrol sistemi kabul sınırları içinde çalışmıştır (TSE, 2012; Önal vd., 2007).

Değişken oranlı gübreleme, toprak ve bitkideki mekânsal değişkenliğe bağlı olarak uygulanan gübre miktarının değiştirilmesini esas alır. Buradaki önemli nokta mekansal değişkenliğin saptanmasıdır. Harita esaslı değişken oranlı uygulamalarda tarlayı hücrelere (grid) ayırıp toprak örneklerinin alınması, bu örneklerin analizi ve analiz sonuçlarının yorumlanması gereklidir. Ancak örnek alma işinin zor olması, analizlerin maliyeti ve yorumların güvenilirliği gibi sorunlar çiftçilerin harita esaslı değişken oranlı tarımsal girdi uygulama sistemlerini kullanmasını zorlaştırmaktadır (Türker ve Güçdemir, 2018). Sensör esaslı değişken oranlı tarımsal girdi uygulamaları ise çiftçiler tarafından daha kolay kullanılmaktadır. Buradaki önemli nokta sensör ile elde edilen verilerin doğruluğudur. Bu araştırmada sensör esaslı, gerçek zamanlı ve değişken oranlı gübreleme yapabilen bir kontrol sisteminin testleri yapılmıştır. Sonuçlar, kontrol sisteminin değişken oranlı gübreleme için TS EN 13739-1'de verilen sınırlar içerisinde başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasına verdikleri desteklerden dolayı Teknokurğu Tarım Teknolojileri ve Dijital Çözümler A.Ş.'ne, Augmenta Firmasına ve Akçakaya Tohumluk A.Ş.'ne teşekkür ederiz.

BİLGİLENDİRME

Bu makalenin özeti, 07-09 Eylül 2022 tarihleri arasında Bilecik' de gerçekleştirilmiş olan 34. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresinin Özet ve Bildiri Kitabı'nda yayınlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akdemir, B., Aydoğdu, B., Üngör, M. G., Atik, M., ve Sağlam, M. (2018). Variable Rate Fertilizer Control System for Centrifugal Fertilizer Spreaders, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35 (3), 319-329.
- Anonim (2022, Ekim 20). *Beyaz İnci*. <https://www.gubretas.com.tr/urun/beyaz-inci-2/>
- Anonim (1999). *Tarımsal Mekanizasyon Araçları Deney İlke ve Metodları*, T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü.
- Augmenta, (2022). *AUGMENTA Ne yapar? Nasıl Çalışır?* <http://www.teknokurğu.com.tr/index.php/tr/augmenta/nedir-nasil-calisir>
- Blackmore, B. S., Wheeler P. N., Morris, J. ve Jones, R. J. A. (1994a). Information Technology in Arable Farming, *Report for Scottish Heritage; TIBRE Project*, 65 p.
- Blackmore, B. S., Wheeler P. N., Morris, J. ve Jones, R. J. A. (1994b). 'The role of precision farming in sustainable agriculture; A European Perspective, *In proc. 2nd International Conference on site Specific Management For Agricultural System*, 1994, Minneapolis USA, March
- Blackmore, S. (1999). Precision Farming an Introduction, *Outlook in Agriculture*, 23(4), 275-280.
- Bongiovanni, R. ve Lovenberg-Deboer, J. (2000). Nitrogen management in corn using site- specific crop response estimates from a spatial regression model. *In proc. 5th International Conference on Precision Agriculture Bloomington, MN. 16-19 July 2000*. Center for Precision Agriculture, University of Minnesota, St. Paul, MN.
- Cox, S. (2002). Information technology: The global key to precision agriculture and sustainability, *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 93-111.
- Davis, G. (1998). *Precision Agriculture: An Introduction*, Water Quality Initiative Publication: WQ450, University of Missouri, Published by University Extension.
- Frank, H., Gandorfer, M., ve Noack, P. O. (2008), Ökonomische Bewertung von Parallelfahrssystemen, In: Müller, R.A.E., Sundermeier, H.-H., Theuvsen, L., Schütze, S., Morgenstern, M.: Referate der 28. GIL-Jahrestagung in Kiel 2008. Referate der 28. GILJahrestagung in Kiel 2008, pp. 47-50.
- Frantzen, D. (1999). *Site-specific farming and the environment*. NDSU Extension Service.North Dakota State University.Dakota.USA.
- Godwin, R. J., Wood, G.A., Taylor, J.C., Earl, R., Knight, S., Welsh, J., ve Blackmore, B. S. (2002). Management guidelines for precision farming: nitrogen, *In proc. ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress Sponsored by ASAE and CIGR*, Hyatt Regency Chicago Chicago, Illinois, USA July 28-July 31, 2002.

- Google Earth (2022). Location https://earth.google.com/web/search/40.931418%0927.397086/@40.93143049,27.39871457,59.9622888a,1035.29765717d,35y,0.82598286h,32.69790119t,-0r/data=ClaLRInGe9zflQ4d0RAIQ-zl22nZTtAKhM0MC45MzE0MTgJMjcuMzk3MDg2GAIgASImCiQJSFZh7k13REARps_Otct1REAZeVF3YZdr00Ahg3NYkkIj00A
- Güçdemir, İ.H., Türker, U. Karablut, A., ve Arçak, Ç. (2004). Gübreleme teknolojilerindeki yenilikler (Hassas tarım uygulamaları) ve bunun tarımsal üretime etkileri üzerine bir çalışma, 3. Ulusal Gübre Kongresi, Tarım Sanayi Çevre Bildiri Kitabı, Cilt -I, Sayfa 1005-1014, 11-13 Ekim, Tokat
- Kim, Y. Reid, J. F. ve Han, S. (2002). Evaluation of a real-time n sensing and fertilizer control automation technology for off-road equipment, *In proc. Conference (Chicago, Illinois, USA)* Publication Date July 26, 2002. ASAE Publication Number 701P0502, ed. Qin Zhang Pp. 102-111, 2002.
- Kirişçi, V., M., Keskin, S., M., Say, S, G., Keskin (1999). *Hassas Uygulamalı tarım teknolojisi*, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Yayın No: 88, Ankara.
- Lawes, R. A., ve Robertson, M. J., (2011), Whole farm implications on the application of variable rate technology to every cropped field, *Field Crops Research*, 124, pp. 142-148.
- Mills, H.A., ve Jones, J.B.Jr. (1979). Nutrient Deficiencies and Toxicities in Plants: Nitrogen, *Journal of Plant Nutrition*, 1,101-122.
- Mirzakhani-fachi, H., Singh M., Dixit A. K., Prakash A., Sharda S., Kaur J., ve Nafchi A. M. (2022). Performance Assessment of a Sensor-Based Variable-Rate Real-Time Fertilizer Applicator for Rice Crop, *Sustainability*, 14, 11209. <https://doi.org/10.3390/su141811209>
- Moore, M. (1999). *An Investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management*, Ph.D. Thesis, Silsoe College, Dept. of Agric. And Biosystems Engineering, Coventry, England.
- Önal, İ., (2017). *Ekim, bakım, gübreleme makinaları*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No.: 490, Bölüm 4, S: 481-606, Bornova, İzmir.
- Önal, İ., Yazgı, A., ve Gücüyen, A. (2007). Titreşimli Besleme Düzenli Çift Diskli Gübre Dağıtma Makinasının Performansı Üzerinde Bir Araştırma, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3(4), 239-247.
- Özgüven, M. M. (2010). Application of Precision Farming in Turkey, Comparative Analysis of Wheat, Cotton and Corn Production, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 6 (2), 127-135.
- RAUSCH (2022). *Instruction Manual*. <https://rauch.de/fileadmin/downloads/betriebsanleitungen/AXIS/5900656-d-en-0413.pdf>
- Sındır, K.O., ve Tekin, A. B. (2002). Economics of variable rate fertilizer application, *Proc. In EE&AE'2002 – International Scientific Conference Rouse, Bulgaria*. 2002
- Tekin, B. (2005). *Değişken Düzeyli Uygulamaya Yönelik Mineral Gübre dağıtma Makinası tasarımı Üzerine Bir Araştırma*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim dalı (Doktora Tezi), Sayfa: 135.
- TSE. (2012). TS EN 13739-1 Tarım Makinaları – Katı gübre yayıcıları ve tam genişlikte gübre dağıtıcıları – Çevre koruma – Bölüm 1: Kurallar. Türk Standartları Enstitüsü.
- Tucker, C. J., B.N. Holben, J. H. Elgin, J.E., ve McMurtrey III. (1980). Relationship of Spectral Data to Grain Yield Variation, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46(5), 657-666.

- Türker, U., ve Güçdemir, İ. H. (2018). Mısırdaki Değişken Oranlı Azot Sensör Uygulaması, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(1), 41-45
- Türker, U., Talepbour, B., ve Özgüven, M. M. (2019). Development of a Row Type Variable Rate Fertilizer Machine and Performance Assessment, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36 (1), 36-44.
- Yinyan, S., Man C., Xiaochan W., Odhiambo M. O., ve Weimin D. (2018a). Numerical Simulation of Spreading Performance and Distribution Pattern of Centrifugal Variable-Rate Fertilizer Applicator Based on DEM software, *Computers and Electronics in Agriculture*, 144, 249-259.
- Yinyan, S., Xiaochan W., Odhiambo M. O., ve Weimin D. (2018b). Motion Analysis and System Response of Fertilizer Feed Apparatus for Paddy Variable-Rate Fertilizer Spreader, *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 239-247.
- Zarco-Tejada, P. J., Hubbard N., ve Loudjani, P. (2014). Precision Agriculture: An Opportunity For EU Farmers - Potential Support With The CAP 2014-2020, https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT%282014%29529049_EN.pdf

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

In this study; the performance of the variable rate fertilizer control system in centrifugal fertilizer spreaders, which detects the fertilizer need in real time with camera sensors, has been determined and evaluated. The system determines the fertilizer need based on the index values determined as a result of the analysis performed with camera images in real time. In the study, the performance of the system was investigated in the case of a constant rate and a variable rate fertilizer applications.

Methodology

In the research, tests were carried out with 46-0-0 compound fertilizer (N, P, K) in the laboratory and in the field for fixed rate and variable rate fertilizer applications. In the study, the performance of the system was investigated in the commonly used fertilization rates of 10, 15, 20 and 25 kg da⁻¹. In addition, the spatial variability detected by the variable rate fertilizer application system in real time was mapped.

Results and Conclusions

In the research, tests were carried out with,46-0-0 (N, P, K) compound fertilizer for the application norms of fixed and variable rate. The performance of the system was investigated in the commonly used fertilization norms of 10, 15, 20 and 25 kg da⁻¹. As a result of the research, the difference between the fixed fertilizer norm and the adjusted value of the system, varied between 0.56% and 4.42%. The differences between the adjusted rate and the applied fertilizer norms in the trials for variable rate fertilization, varied between 3.80% and 5.10%. The measured deviation values are considerably lower than the acceptable deviation value of 10%.

Yazarların Biyografisi



Bahattin AKDEMİR

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımsal Makine Sistemleri Anabilim dalında öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Tarım makinaları, traktör ve akıllı tarım / hassas tarım konularında araştırmalar yapmaktadır.

İletişim

bakdemir@nku.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-9872-1823>



Eray ÖNLER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımsal Makine Sistemleri Anabilim dalında öğretim elemanı olarak çalışmaktadır. Tarım makinaları, görüntü işleme ve akıllı tarım / hassas tarım konularında araştırmalar yapmaktadır.

İletişim

erayonler@nku.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-7700-3742>