

## Domates (*Solanum lycopersicum*) Bitkisinde Azot İçeriğinin Hiperspektral Algılama Teknikleriyle Belirlenebilirliğinin Araştırılması

Esmâ KARĞI<sup>1</sup>, Levent BAŞAYİĞİT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü,  
Sorumlu yazar: eozcoban@msn.com

Geliş tarihi: 16.07.2019, Yayına kabul tarihi: 28.11.2019

**Özet:** Bu çalışmada, hiperspektral yöntemler ile domates (*Solanum lycopersicum*) bitkisinin azot içeriğinin kontrollü sera koşullarında belirlenmesi amaçlanmıştır. Sera koşullarında yürütülen çalışmada spektral yansımaya ölçümleri için elektromanyetik spektrumun 325-1075 nm dalga boyları arasında yansımaya ölçümleri yapabilen taşınabilir bir spektrometre kullanılmıştır.

Çalışmada domates bitkisine iki farklı gübre çeşidi amonyum nitrat ve amonyum sülfat formunda, 5 farklı doz uygulaması yapılmıştır. Toplamda 120 saksıdan oluşan denemede 4 farklı dönemde her bir dozdan 3 tekerrür olacak şekilde örnekleme yapılmıştır. Domates bitkisinin hiperspektral algılama yöntemleri ile N içeriğinin belirlenmesinde, amonyum nitrat uygulanan domates bitkilerinin spektral yansımaya grafiği görünür bölgede daha fazla çalışırken amonyum sülfat uygulananlarda ise görünür ve yakın kızılötesi bölgesinde daha iyi belirlenebildiği görülmüştür. Özellikle 4. dönemde uygulanan amonyum nitrat ve amonyum sülfat uygulamalarının her ikisinde azalan doz artışına bağlı olarak görünür bölgede yansımaya yüzdelere artırdığı, dolayısıyla bu dönemde domates bitkisinin N içeriğinin belirlenebileceği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Amonyum nitrat, Amonyum sülfat, Azot, Domates, Spektral yansımaya, Spektrometre

### Investigation of The Determination of Nitrogen Content with Hyperspectral Detection Techniques in Tomato

**Abstract:** The aim of the study was to determine the nitrogen content of tomato (*Solanum lycopersicum*) under controlled greenhouse conditions by hyperspectral methods. The study was carried out in the greenhouse conditions. A portable spectroradiometer capable of reflectance measurements between 325-1075 nm of the electromagnetic spectrum was used for spectral reflection measurements. In this study, two different fertilizer types, ammonium nitrate, and ammonium sulfate were applied to tomato seedlings in 5 different doses. The experiment has consisted of 120 pots in total which 3 replications of each dose have been sampled in 4 different periods. The spectral reflection graph of tomato seedlings which applied ammonium nitrate was shown more acceptable values in the visible region, whereas the ammonium sulfate applied samples could be determined better in the visible and near-infrared region. Especially in the 4th period, the reflectance percentages were increased in the visible region due to the decreasing dose. It could be determined the N content of the tomato seedlings in this period.

**Key words:** Ammonium nitrate, ammonium sulfate, nitrogen, tomato (*Solanum lycopersicum*), spectral reflectance, spectroradiometer

## Giriş

Hiperspektral yansıma tekniklerinin en yaygın kullanım şekli ise spektrometrelerdir (Başayığit ve Dedeoğlu, 2012). 1970'li yılların başından itibaren bitkilerin kimyasal içeriklerini belirlemek amacıyla spektrometrik ölçümlerin kullanıldığı bilinmekte ve günümüzde de araştırmalar devam etmektedir. Günümüzde halen gelişme aşamasındaki bu sistemlerde, ölçüm yöntemleri arazide ve laboratuvar şartlarında da kısa sürede yapılabilmektedir. Thomas ve Oerther (1972), biberde, yaprak azot oranının % 5'den % 4'ün altına düşmesi durumunda görsel olarak herhangi bir farkın ortaya çıkmadığını, ancak yansıma değerleri ile bu farkın belirlenebileceğini bildirmişlerdir. Bitkilerde bir besin elementi eksikliğine karşı yapılacak geç müdahale, verim ve kalitenin düşmesine neden olacaktır (Kruse ve ark., 2006). Bu sistemlerin standart yöntem olarak kullanılabilir duruma gelmesi halinde pahalı ve uzun zaman gerektiren laboratuvar analizlerinin yerine bitki besin elementlerinin eksikliğinin çok kısa sürede, arazide ve pratik bir şekilde uygulanabilen bir tekniğin geliştirilmesi için önemli katkı sağlanacaktır. Özellikle bitki beslenmesinde en kritik element olarak tanımlanan azotun bu yöntemler ile belirlenmesi konuyu daha da önemli kılmaktadır.

Azot, bitki gelişmesinde dolayısı ile gıda güvenliği açısından çok önemli bir yere sahip makro besin elementidir. Çünkü azot bitkide protein, amino asit, amid, nükleik asit, klorofil gibi önemli fonksiyonları bulunan organik bileşiklerin yapısında bulunmaktadır. Bu durum bitki bünyesindeki önemli fizyolojik fonksiyonları, ürün miktarını ve ürün kalitesini etkilemektedir.

Bitki hücre duvarının temel yapı taşıdır. Köklerin solunumunda, çiçeklenmenin zamanında gerçekleşmesinde, meyvenin (tohumun) oluşma ve olgunlaşmasında azotun rolü büyüktür. Azotça iyi beslenen ağaçların zararlılara karşı direnci de artmaktadır (Kantarıcı, 2000; Fageria, 2009; Bolat ve Kara 2017).

Bu çalışmada farklı azotlu gübreleme uygulanan domates (*Solanum lycopersicum*) bitkisinde N içeriğinin görünür yakın

kızılötesi spektrometrik yöntem kullanılarak belirlenebilirliği araştırılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezinde yer alan cam serada domates bitkisi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada saksı materyali olarak kullanılan toprak, kumlu tın tekstürlü, saksı kapasitesi nem düzeyi % 30.5 olan ve pH'sı 7.9, EC'si 975  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , % 6.5  $\text{CaCO}_3$  ve % 2.5 organik madde içermektedir. Bu çalışmada % 33 N içeren amonyum nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) ve % 21 N içeren amonyum sülfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) olmak üzere iki farklı azot gübresi kullanılmıştır.

Denemenin seraya kurulması, yaprak örneklerinin alınması ve spektral ölçümler, laboratuvar analizleri, spektral verilerin işlenmesi, istatistik analizler ve modellemeden oluşmaktadır.

Denemede amonyum nitrat ve amonyum sülfat olmak üzere iki farklı gübre kullanılmıştır. Bu her iki gübreden de 5 farklı doz (0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm) olmak üzere her dozdan 3 tekerrürlü ve 4 farklı dönem için toplam 120 saksı kullanılmıştır. Her saksıya, 4 mm elekten geçirilmiş topraktan 9 kg tartılarak koyulmuştur. Domates fidelerinin saksılara dikiminden önce fidelerin kök bölgesine topraktan kaynaklı patojenlere karşı T-22 Planter Box uygulanmıştır. 26 Temmuz 2016'da dikim yapılarak can suyu verilmiştir.

Spektral ölçümlerin elde edilmesinde taşınabilir ASD FieldSpec HandHeld Spektrometre cihazı kullanılmıştır. Spektral verilerin işlenmesi çalışmaları ASD RS3 ve ViewSpec Pro yazılımları kullanılarak yapılmıştır. İlk olarak yapraklardan elde edilen yansıma değerlerinin ortalamaları alınarak başlanmıştır. Her bir bitki için tipik bir yansıma eğrisi oluşturulmuştur.

Spektral ölçümler ile yansımada meydana gelen değişimleri gözlemleyebilmek için 1. dereceden türevleri alınmıştır.

Yaprak örneklerinin alınması ve spektral ölçümler 10 gün arayla 4 farklı dönemde

yapılmıştır. Bu dönemler 15 Ağustos, 25 Ağustos, 5 Eylül ve 15 Eylül tarihlerinde yapılmıştır. Her spektral ölçüm döneminde amonyum nitrat ve amonyum sülfat gübrelenmesi uygulanan bitkilerden 15'er tane olmak üzere toplam 30 tane bitki alınmıştır. Bu alınan bitkilerin her birinden 3'er spektral ölçüm yapılarak her dönemde 90 spektral ölçüm yapılmıştır. Dört farklı dönemde spektral ölçüm sayısı 360'dır.

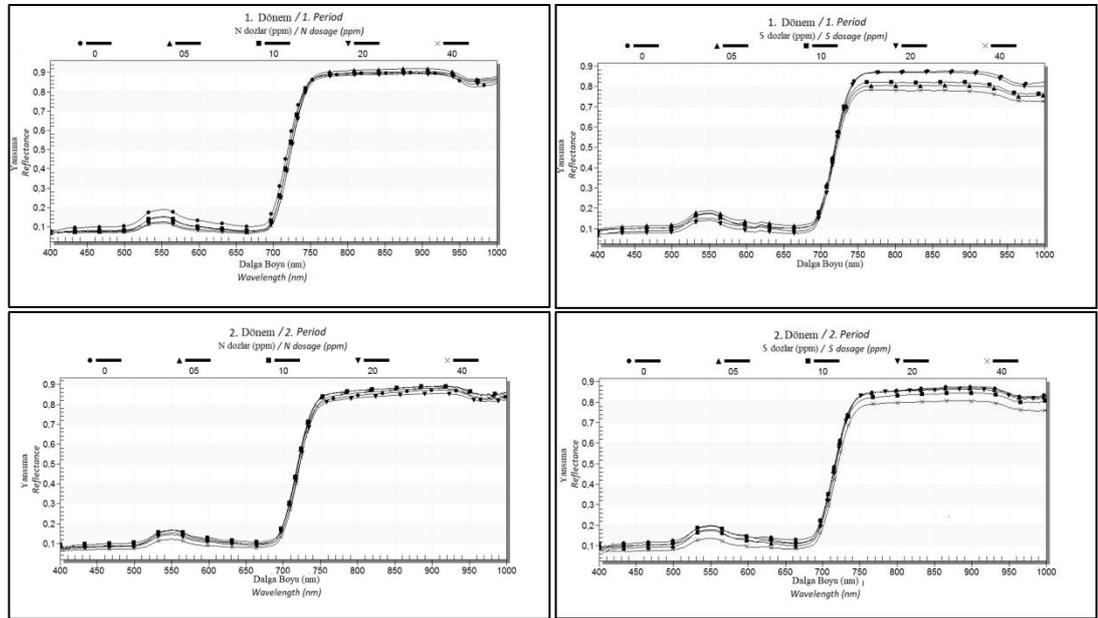
Bitki örneklerinin tamamı saf su ile yıkandıktan sonra kurutma fırınında 65 °C' de 48 saat kurutulmuştur. Öğütücüde öğütülerek analiz için hazır duruma getirilmiştir. Çalışmada N tayini, Kjeldahl Yöntemi ile yapılmıştır (Kacar, 1995). Ayrıca P ve K analizleri de yapılmıştır.

Araştırmada  $NH_4NO_3$  ve  $(NH_4)_2SO_4$  uygulanan bitkilere ait spektral veriler ile laboratuvar analizi sonucu elde edilen N elementi seviyeleri çoklu karşılaştırma testi olan stepwise çoklu linear regresyon analiz yöntemiyle Minitab 15 istatistik paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Değişkenlerin (dalga boylarının)

azaltılmasıyla farklı dalga boyu kombinasyonları kullanılarak en fazla 6 dalga boyunda ve azalan dalga boyu sayılarıyla en yüksek  $R^2$  değerli matematiksel tahmin modelleri oluşturulmaya çalışılmıştır.

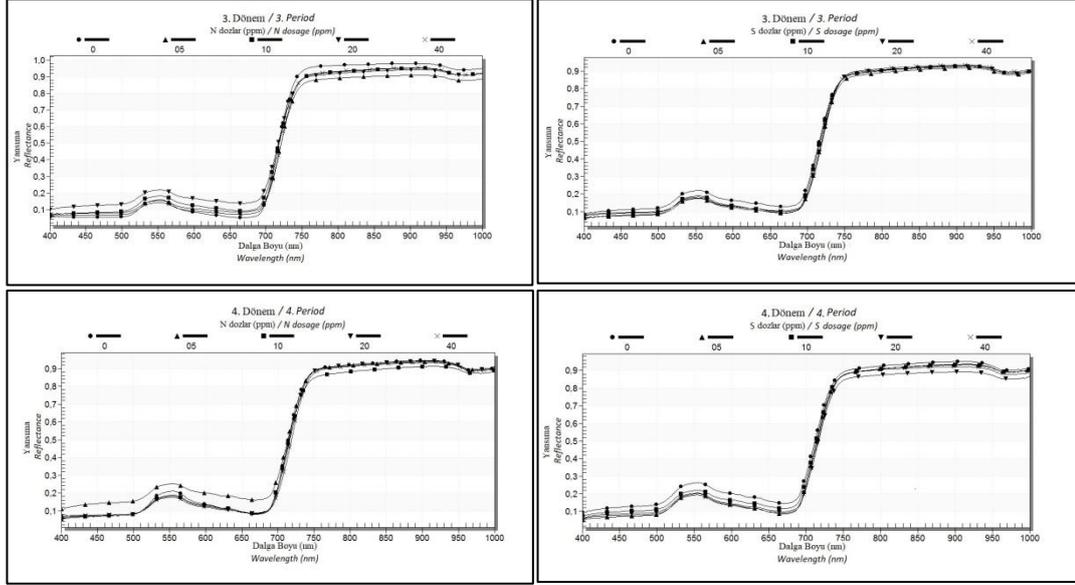
### Bulgular ve Tartışma

Amonyum nitrat ile uygulama yapılan domates bitkilerinin laboratuvar analizlerinde N içeriği % 0.83 ile % 3.89 arasında değiştiği belirlenmiştir. Alpaslan vd. (2005)'ne göre yapılan sınıflama kapsamında tüm dönemler ve dozlar göz önüne alındığında  $NH_4NO_3$  ile gübrelenen domates bitkilerinin % 8.3'ünde N yeterli, % 91.7'sinde N noksanlığı görülmüştür. Amonyum sülfat ile uygulama yapılan domates bitkilerinde N içeriğinin % 0.72 ile % 3.01 arasında değiştiği belirlenmiştir. Alpaslan vd. (2005)'ne göre yapılan sınıflama kapsamında tüm dönemler ve dozlar göz önüne alındığında  $(NH_4)_2SO_4$  ile gübrelenen domates bitkilerinin tamamında N noksanlığı belirlenmiştir.



Şekil 1. Dört dönemlik farklı dozlardaki  $NH_4NO_3$  ve  $(NH_4)_2SO_4$  uygulamalarının spektral yansımaları

Figure 1. Spectral reflections of applications  $NH_4NO_3$  and  $(NH_4)_2SO_4$  at different doses for four periods



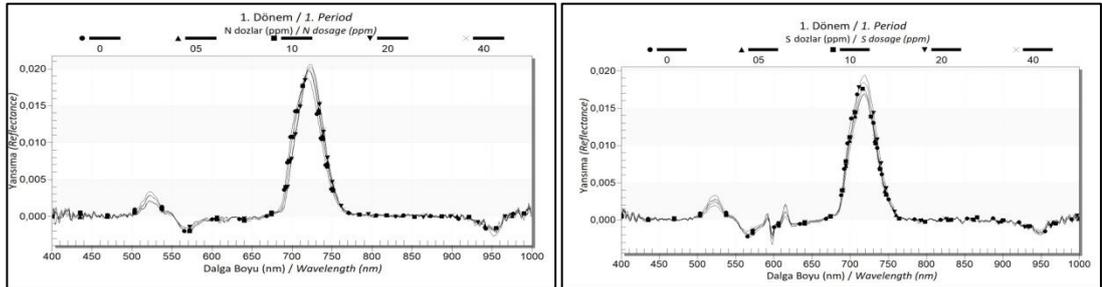
Şekil 1. Dört dönemlik farklı dozlardaki  $NH_4NO_3$  ve  $(NH_4)_2SO_4$  uygulamalarının spektral yansımaları (devam)

Figure 1. Spectral reflections of applications  $NH_4NO_3$  and  $(NH_4)_2SO_4$  at different doses for four periods (continue)

Dönemlere bağlı olarak bitkilere uygulanan doz farklılıkları görünür bölgede değerlendirildiğinde  $NH_4NO_3$  uygulamasının 1. ve 4. dönemlerinde,  $(NH_4)_2SO_4$  uygulamasının 2. ve 4. dönemlerinde spektral yansımaları etkilediği ve dozların etkisinin yansıma grafiklerini daha belirgin hale getirdiği belirlenmiştir. Bu dönemlerde azalan doza bağlı olarak görünür bölgede yansıma yüzdelерinin de arttığı görülmüştür. Domates bitkilerine  $NH_4NO_3$  ve  $(NH_4)_2SO_4$

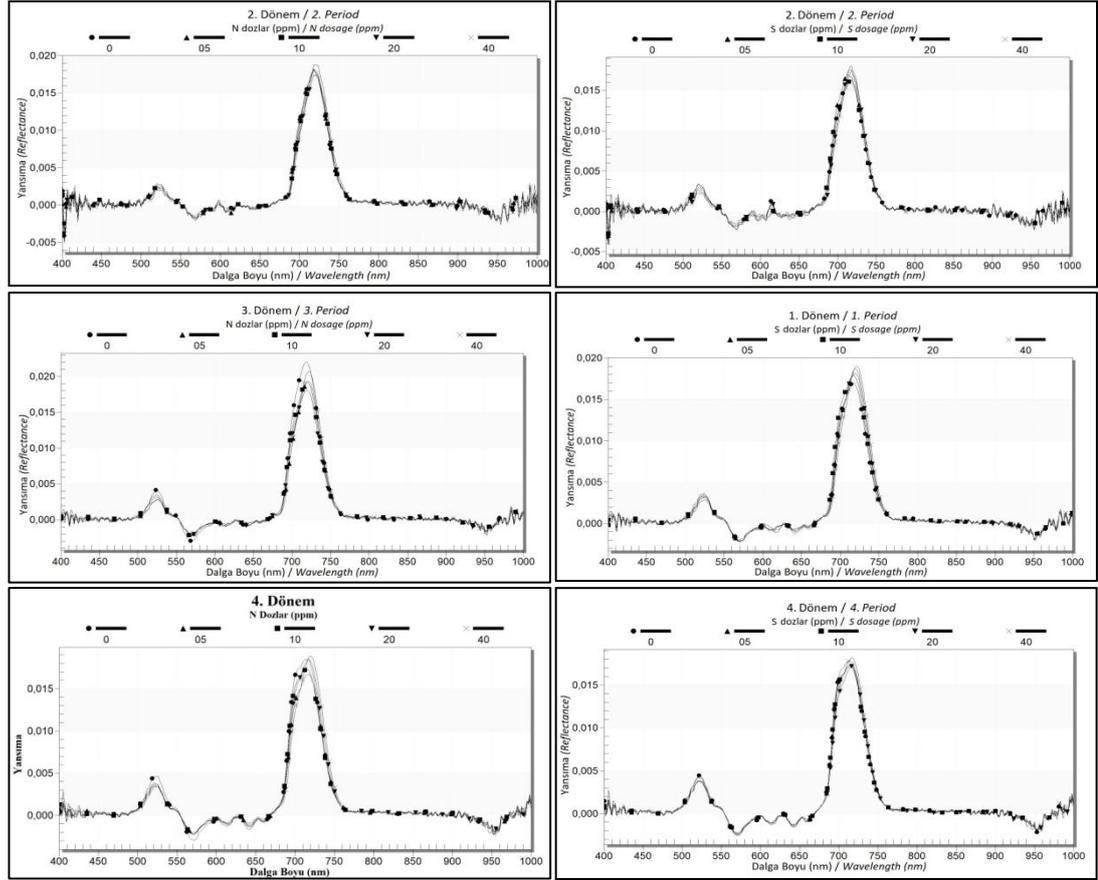
uygulaması olarak iki uygulama yapılan bitkilerin 4. dönemdeki yansıma grafikleri dozlar açısından karşılaştırıldığında görünür bölgede benzer sıralama gözlemlenmiştir.

Amonyum nitrat ve amonyum sülfat uygulaması yapılan denemede yansıma eğrilerinin 1. türevi alınarak en fazla kırılma gösteren dalga boyları belirlenmiş ve böylece yaygın kullanılacak dalga boyları tespit edilmiştir. Yansıma eğrilerinin 1. türev dönüşümleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. dört dönemlik farklı dozlardaki  $NH_4NO_3$  ve  $(NH_4)_2SO_4$  uygulamasının spektral türev grafikleri

Figure 2. Spectral derivative graphs of applications  $NH_4NO_3$  and  $(NH_4)_2SO_4$  at different doses for four periods



Şekil 2. Dört dönemlik farklı dozlardaki  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ve  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  uygulamasının spektral türev grafikleri (devam)

Figure 2. Spectral derivative graphs of applications  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  at different doses for four periods (continue)

Amonyum nitrat uygulaması yapılan bitkilerin yansıma ölçümlerinden elde edilen türev grafiklerinde 520, 570 ve 720 nm en çok kullanılan dalga boyları olmuştur. Diğer anlamlı dalga boyları 500-600 nm (yeşil) arasında yer almıştır. Amonyum nitrat uygulamasında en ayırt edici veriler 4. dönemde belirlenmiştir. Amonyum sülfat uygulamasında ise en fazla seçilen dalga boyu 520, 600 ve 950 nm olmuştur. Bunu 500-600 nm arasında yer alan dalga boyları takip etmiştir. Amonyum sülfat uygulamasında en ayırt edici sonuçlar 4. dönemde elde edilmiştir. Amonyum nitrat ve amonyum sülfat uygulamasında 4. dönemin türev grafiklerinin spektral yansımalarının en ayırt edici dönem olması, bitkinin gerileme dönemine girmesinden dolayı dozlar arasındaki farkın daha net görülmesine neden olmuştur.

Amonyum nitrat ve amonyum sülfat uygulamasının dört dönem için farklı dozlar ve tekrürler birlikte tahmin modelleri yapılmıştır (Çizelge 1 ve 2).

İstatistik analiz bulguları neticesinde domates yaprak örneklerinin  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  uygulamasında 6 dalga boyu (bant) kullanılarak oluşturulan tahmin modellerinde en yüksek doğruluk katsayısı ( $R^2$ ) 97.08 ile 2. dönem örneklemelerinden elde edilmiştir. 2. dönemi sırasıyla 95.46 ile 4. dönem, 89.86 ile 3. dönem ve 89.80 ile 1. dönem takip etmiştir.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  uygulaması yapılan deneme bitkilerinin N içeriğini tahmin etmek üzere geliştirilen modellerde seçilen dalga boylarının yaklaşık % 29.2'si 400-500 nm, % 29.2'si 500-600 nm, % 16.7'si 600-700 nm, % 16.7'si 700-800 nm, % 8.3 'ü 800-900 nm arasında yer almıştır.

Çizelge 1. Amonyum nitrat uygulamasında dönemlik yaprak örneklerinden alınan azot elementi ortalaması alınmış tahmin modelleri  
 Table 1. Prediction models of average nitrogen element taken from seasonal leaf samples at Ammonium nitrate application

<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 1. DÖNEM / NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 1. PERİOD</b>		<b>TAHMİN / PREDICTION</b>	
<b>BANT SAYISI BAND NUMBER</b>	<b>MODEL MODEL</b>	<b>DENKLEM EQUATION</b>	<b>R<sup>2</sup>(adj) (RMSE=0.160)</b>
<b>1 Bant / Band</b>	$N = 8.38 + (-73.6 \times 423nm)$	$y = 0.4468x + 1.4457$	$R^2 = 0.4469$
<b>2 Bant / Band</b>	$N = 6.15 + (-239.8 \times 423nm) + (204.9 \times 416nm)$	$y = 0.7142x + 0.7415$	$R^2 = 0.7141$
<b>3 Bant / Band</b>	$N = 5.58 + (-249.8 \times 423nm) + (293.2 \times 416nm) + (-67.4 \times 418nm)$	$y = 0.7911x + 0.5488$	$R^2 = 0.7911$
<b>4 Bant / Band</b>	$N = 5.46 + (-290.3 \times 423nm) + (497 \times 416nm) + (-55.6 \times 418nm) + (-173 \times 415nm)$	$y = 0.8374x + 0.4307$	$R^2 = 0.8377$
<b>5 Bant / Band</b>	$N = 6.38 + (-231.4 \times 423nm) + (606 \times 416nm) + (-83.4 \times 418nm) + (-191.2 \times 415nm) + (-132.6 \times 420nm)$	$y = 0.8701x + 0.3302$	$R^2 = 0.8698$
<b>6 Bant / Band</b>	$N = 6.19 + (-225.1 \times 423nm) + (593 \times 416nm) + (-269 \times 418nm) + (-173 \times 415nm) + (-307 \times 420nm) + (351 \times 419nm)$	$y = 0.9006x + 0.2233$	<b><math>R^2 = 0.898</math></b>
<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 2. DÖNEM / NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 2. PERİOD</b>		<b>TAHMİN / PREDICTION</b>	
<b>BANT SAYISI BAND NUMBER</b>	<b>MODEL MODEL</b>	<b>DENKLEM EQUATION</b>	<b>R<sup>2</sup>(adj) (RMSE=0.060)</b>
<b>1 Bant / Band</b>	$N = 2.976 + (-9.76 \times 401nm)$	$y = 0.2706x + 1.5782$	$R^2 = 0.2705$
<b>2 Bant / Band</b>	$N = 2.779 + (-20.96 \times 401nm) + (12.02 \times 668nm)$	$y = 0.5043x + 1.0726$	$R^2 = 0.5043$
<b>3 Bant / Band</b>	$N = 3.126 + (-17.30 \times 401nm) + (251.9 \times 668nm) + (-241.3 \times 674nm)$	$y = 0.6847x + 0.6856$	$R^2 = 0.6848$
<b>4 Bant / Band</b>	$N = 3.961 + (-21.68 \times 401nm) + (394.9 \times 668nm) + (-346.9 \times 674nm) + (-36.81 \times 510nm)$	$y = 0.8412x + 0.5175$	$R^2 = 0.8908$
<b>5 Bant / Band</b>	$N = 3.947 + (-23.84 \times 401nm) + (527.8 \times 668nm) + (-289.3 \times 674nm) + (-36.68 \times 510nm) + (-190.8 \times 673nm)$	$y = 1.0107x - 0.203$	$R^2 = 0.9423$
<b>6 Bant / Band</b>	$N = 3.819 + (-22.86 \times 401nm) + (421.3 \times 668nm) + (-221.5 \times 674nm) + (-155.1 \times 510nm) + (-162.2 \times 673nm) + (130.6 \times 509nm)$	$y = 0.97x + 0.0789$	<b><math>R^2 = 0.9708</math></b>
<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 3. DÖNEM / NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 3. PERİOD</b>		<b>TAHMİN / PREDICTION</b>	
<b>BANT SAYISI BAND NUMBER</b>	<b>MODEL MODEL</b>	<b>DENKLEM EQUATION</b>	<b>R<sup>2</sup>(adj) (RMSE=0.017)</b>
<b>1 Bant / Band</b>	$N = 2.351 + (-5.13 \times 544nm)$	$y = 0.13x + 1.3342$	$R^2 = 0.1299$
<b>2 Bant / Band</b>	$N = 3.383 + (-128.9 \times 544nm) + (121.5 \times 563nm)$	$y = 0.3095x + 1.0649$	$R^2 = 0.3104$
<b>3 Bant / Band</b>	$N = 3.579 + (-651 \times 544nm) + (148.5 \times 563nm) + (493 \times 545nm)$	$y = 0.4963x + 0.8537$	$R^2 = 0.5081$
<b>4 Bant / Band</b>	$N = 3.578 + (-561 \times 544nm) + (428 \times 563nm) + (518 \times 545nm) + (-392 \times 561nm)$	$y = 0.6472x + 0.477$	$R^2 = 0.6363$
<b>5 Bant / Band</b>	$N = 2.584 + (-127 \times 544nm) + (1214 \times 563nm) + (281 \times 545nm) + (-1329 \times 561nm) + (-38.61 \times 692nm)$	$y = 0.8616x + 0.2546$	$R^2 = 0.868$
<b>6 Bant / Band</b>	$N = 1.769 + (-4 \times 544nm) + (1419 \times 563nm) + (147 \times 545nm) + (-1335 \times 561nm) + (-30.4 \times 692nm) + (-195 \times 566nm)$	$y = 0.8996x + 0.15$	<b><math>R^2 = 0.8986</math></b>
<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 4. DÖNEM / NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 4. PERİOD</b>		<b>TAHMİN / PREDICTION</b>	
<b>BANT SAYISI BAND NUMBER</b>	<b>MODEL MODEL</b>	<b>DENKLEM EQUATION</b>	<b>R<sup>2</sup>(adj) (RMSE=0.297)</b>
<b>1 Bant / Band</b>	$N = -0.32 + (1.51 \times 775nm)$	$y = 0.1016x + 0.9141$	$R^2 = 0.1013$
<b>2 Bant / Band</b>	$N = -0.152 + (155.5 \times 775nm) + (-154.3 \times 773nm)$	$y = 0.4978x + 0.5183$	$R^2 = 0.4972$
<b>3 Bant / Band</b>	$N = 0.156 + (134 \times 775nm) + (-129.9 \times 773nm) + (-3.33 \times 969nm)$	$y = 0.5951x + 0.378$	$R^2 = 0.5977$
<b>4 Bant / Band</b>	$N = -0.753 + (198.2 \times 775nm) + (-197.06 \times 773nm) + (-42.19 \times 969nm) + (43.31 \times 986nm)$	$y = 0.8978x + 0.5483$	$R^2 = 0.8563$
<b>5 Bant / Band</b>	$N = -0.417 + (211.4 \times 775nm) + (-210.7 \times 773nm) + (-51.01 \times 969nm) + (50.33 \times 986nm) + (1.551 \times 734nm)$	$y = 0.9205x + 0.0831$	$R^2 = 0.9199$
<b>6 Bant / Band</b>	$N = -0.169 + (239.8 \times 775nm) + (-244.7 \times 773nm) + (-54.09 \times 969nm) + (53.24 \times 986nm) + (81.9 \times 734nm) + (-75 \times 733nm)$	$y = 0.9547x + 0.1145$	<b><math>R^2 = 0.9546</math></b>

Çizelge 2. Amonyum sülfat uygulamasında dönemlik yaprak örneklerinden alınan azot elementi ortalaması alınmış tahmin modelleri  
Table 2. Prediction models of average nitrogen element taken from seasonal leaf samples at Ammonium sulfate application

<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1. DÖNEM / NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub> 1. PERİOD</b>		<b>TAHMİN / PREDICTION</b>	
<b>BANT SAYISI BAND NUMBER</b>	<b>MODEL MODEL</b>	<b>DENKLEM EQUATION</b>	<b>R<sup>2</sup>(adj) (RMSE=0.048)</b>
1 Bant / Band	$N = 6.78 + (-15.32x 708nm)$	$y = 0.4851x + 1.1191$	$R^2 = 0.4852$
2 Bant / Band	$N = 6.36 + (-10.23x 708nm) + (-6.77x 554nm)$	$y = 0.5457x + 0.985$	$R^2 = 0.5457$
3 Bant / Band	$N = 4.365 + (17.10x 708nm) + (-174.2x 554nm) + (150.6x 569nm)$	$y = 0.8881x + 0.2479$	$R^2 = 0.8891$
4 Bant / Band	$N = 1.68 + (-39.2x 708nm) + (-250.4x 554nm) + (236.9x 569nm) + (54.7 x 712nm)$	$y = 0.9345x + 0.151$	$R^2 = 0.9356$
5 Bant / Band	$N = 0.817 + (-69.1x 708nm) + (-228.7x 554nm) + (518.3x 569nm) + (78.3 x 712nm) + (-293.8 x 568nm)$	$y = 0.981x + 0.0434$	$R^2 = 0.9809$
6 Bant / Band	$N = 0.847 + (-41.1x 708nm) + (-214.7x 554nm) + (522.8x 569nm) + (147.3 x 712nm) + (-312.2 x 568nm) + (-97.5 x 711nm)$	$y = 0.9911x + 0.0094$	<b><math>R^2 = 0.9897</math></b>
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2. DÖNEM / NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub> 2. PERİOD</b>		<b>TAHMİN / PREDICTION</b>	
<b>BANT SAYISI BAND NUMBER</b>	<b>MODEL MODEL</b>	<b>DENKLEM EQUATION</b>	<b>R<sup>2</sup>(adj) (RMSE=0.200)</b>
1 Bant / Band	$N = 3.474 + (-3.97 x 714nm)$	$y = 0.2289x + 1.3361$	$R^2 = 0.2288$
2 Bant / Band	$N = 1.20 + (-7.69 x 714nm) + (5.03x 957nm)$	$y = 0.5311x + 1.0172$	$R^2 = 0.5564$
3 Bant / Band	$N = -0.880 + (-8.17 x 714nm) + (58.3x 957nm) + (-51 x 994nm)$	$y = 0.8826x + 0.0269$	$R^2 = 0.8527$
4 Bant / Band	$N = -2.578 + (-8.843 x 714nm) + (15.5x 957nm) + (-75.53 x 994nm) + (70 x 961nm)$	$y = 0.9399x + 0.0771$	$R^2 = 0.9405$
5 Bant / Band	$N = -2.719 + (-9.362 x 714nm) + (8.4 x 957nm) + (-84.73 x 994nm) + (49.6 x 961nm) + (37.4 x 974nm)$	$y = 0.9603x + 0.0671$	$R^2 = 0.9602$
6 Bant / Band	$N = -2.843 + (-9.482 x 714nm) + (7.5 x 957nm) + (-87.97 x 994nm) + (42.7 x 961nm) + (32.1 x 974nm) + (16.60 x 981nm)$	$y = 0.9717x - 0.0004$	<b><math>R^2 = 0.9725</math></b>
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3. DÖNEM / NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub> 3. PERİOD</b>		<b>TAHMİN / PREDICTION</b>	
<b>BANT SAYISI BAND NUMBER</b>	<b>MODEL MODEL</b>	<b>DENKLEM EQUATION</b>	<b>R<sup>2</sup>(adj) (RMSE=0.096)</b>
1 Bant / Band	$N = 1.843 + (-2.90 x 701nm)$	$y = 0.2948x + 0.8373$	$R^2 = 0.2946$
2 Bant / Band	$N = 1.653 + (-14.97 x 701nm) + (15.65 x 552nm)$	$y = 0.6862x + 0.3741$	$R^2 = 0.6865$
3 Bant / Band	$N = 1.381 + (-9.26 x 701nm) + (478.7 x 552nm) + (-468.7x 553nm)$	$y = 0.914x + 0.0995$	$R^2 = 0.9132$
4 Bant / Band	$N = 1.611 + (-9.14 x 701nm) + (535.7 x 552nm) + (-545 x 553nm) + (19.2 x 565nm)$	$y = 0.9171x + 0.1243$	$R^2 = 0.9242$
5 Bant / Band	$N = 1.717 + (-6.21 x 701nm) + (554.8 x 552nm) + (-511.1 x 553nm) + (95.3 x 565nm) + (-132.4 x 561nm)$	$y = 0.9529x + 0.0505$	$R^2 = 0.9514$
6 Bant / Band	$N = 2.076 + (-3.71 x 701nm) + (648.1 x 552nm) + (-577.4 x 553nm) + (191.5 x 565nm) + (-143.5 x 561nm) + (-115.4 x 561nm)$	$y = 0.9642x + 0.0673$	<b><math>R^2 = 0.9715</math></b>
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4. DÖNEM / NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub> 4. PERİOD</b>		<b>TAHMİN / PREDICTION</b>	
<b>BANT SAYISI BAND NUMBER</b>	<b>MODEL MODEL</b>	<b>DENKLEM EQUATION</b>	<b>R<sup>2</sup>(adj) (RMSE=0.006)</b>
1 Bant / Band	$N = 1.816 + (-1.755 x 717nm)$	$y = 0.8052x + 0.1702$	$R^2 = 0.8052$
2 Bant / Band	$N = 1.843 + (-1.90 x 717nm) + (0.734 x 401nm)$	$y = 0.854x + 0.1272$	$R^2 = 0.8541$
3 Bant / Band	$N = 1.841 + (-1.921 x 717nm) + (5.35 x 401nm) + (-4.48 x 404nm)$	$y = 0.8907x + 0.0951$	$R^2 = 0.8908$
4 Bant / Band	$N = 1.983 + (-2.244 x 717nm) + (4.82 x 401nm) + (-7.97 x 404nm) + (2.91x 675nm)$	$y = 0.9098x + 0.0799$	$R^2 = 0.9105$
5 Bant / Band	$N = 1.8438 + (-1.978 x 717nm) + (0.37 x 401nm) + (-7.85 x 404nm) + (26.22 x 675nm) + (-20.55 x 663nm)$	$y = 0.9734x + 0.024$	$R^2 = 0.974$
6 Bant / Band	$N = 1.8638 + (-2.03 x 717nm) + (3.83 x 401nm) + (-8.62 x 404nm) + (27.38 x 675nm) + (-20.72 x 663nm) + (-3.78 x 407nm)$	$y = 0.9799x + 0.0187$	<b><math>R^2 = 0.9809</math></b>

Bu çalışmada da N içeriğini tahmin etmek üzere geliştirilen modellerde seçilen dalga boylarının 400-700 nm arasında yer alan dalga boyları toplam dalga boyları arasında % 75'e tekabül etmektedir.

İstatistik analiz bulguları neticesinde domates yaprak örneklerinin (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> uygulamasında 6 dalga boyu (bant) kullanılarak oluşturulan tahmin modellerinde en yüksek doğruluk katsayısı (R<sup>2</sup>) 98.97 ile 1. dönem örneklemelerinden elde edilmiştir. 1. dönem sırasıyla 98.09 ile 4. dönem, 97.25 ile 2. dönem ve 97.15 ile 3. dönem takip etmiştir. Yansıma ölçümlerinin 2. döneminde tek dalga boyu kullanılarak elde edilen tahmin modelinin doğruluk katsayısı en düşük değer vermiştir. (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> uygulaması yapılan deneme bitkilerinin N içeriğini tahmin etmek üzere geliştirilen modellerde seçilen dalga boylarının yaklaşık % 12.5'i 400-500 nm, % 33.3'ü 500-600 nm, % 8.3'ü 600-700 nm, % 25.0'ı 700-800 nm, % 20.9'u 800-900 nm arasında yer almıştır.

Bu çalışmada da N içeriğini tahmin etmek üzere geliştirilen modellerde seçilen dalga boylarının 400-70 nm arasında yer alan dalga boyları toplam dalga boyları arasında % 54.2'ye tekabül etmektedir. Jain ve Ray (2007)'de yaptığı çalışmada patates bitkisinin gösterdiği yansımaların toplam N analizi sonuçları ile ilişkilendirildiğinde stepwise regresyon istatistik analiz metodu kullanarak N besin elementinin 560, 650, 730 ve 760 nm dalga boylarında tahmin edilebildiği görülmüştür

### Sonuç

Bu çalışma domates bitkisine farklı iki azot gübresi uygulanarak bitkinin azot içeriğinin spektral yansıma değerleri yardımıyla belirlenebilirliğini araştırmak amacıyla yürütülmüştür. Domates bitkisinin hiperspektral algılama yöntemleri ile N içeriğinin belirlenmesinde amonyum nitrat uygulamasında spektral yansıma grafiğinin görünür bölgesi daha fazla çalışırken, amonyum sülfat uygulamasında ise görünür ve yakın kızılötesi bölgesinde daha iyi belirlenebildiği görülmüştür. Özellikle 4. dönemde uygulanan amonyum nitrat ve amonyum sülfat uygulamalarının her ikisinde

azalan doz artışına bağlı olarak görünür bölgede yansıma yüzdelerini artırdığı, dolayısıyla bu dönemde domates bitkisinin N içeriğinin belirlenebileceği tahmin edilmektedir.

### Kaynaklar

- Alpaslan, M., Güneş, A. ve İnal, A., 2005. Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara Üniversitesi Basımevi.
- Başayığit, L. ve Dedeoğlu, M., 2012. Elma Ağaçlarında Çinko Noksanlığının Görünür Yakın Kızılötesi (VNIR) Spektroskopik Yöntemle Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 5(2), 64-67.
- Bolat, İ. ve Kara, Ö., 2017. Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19(1), 218-228. <https://doi.org/10.24011/barofd.251313>
- Fageria, N. K., 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. , New York. CRC Pres, Florida, Taylor & Francis Group.
- Jain, N. ve Ray, S. 2007. Use of Hyperspectral Data to Assess the Effects of Different Nitrogen Applications on a Potato Crop. Springer Science+Business Media, 8, 225–239. <https://doi.org/10.1007/s11119-007-9042-0>
- Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları.
- Kantarıcı, M. D., 2000. Toprak İlmi. İÜ Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462.
- Kruse, J.K., Christians, N.E., Chaplin, M.H., 2006. Remote Sensing of Nitrogen Stress in Creeping Bentgrass. Agronomy Journal, 98:1640-1645.
- Thomas, J.R., Oerther, G.F. 1972. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. Agronomy Journal, 64: 11-13.