



Araştırma Makalesi/Research Article

Yaprak ve Taç Düzeyindeki Spektral Ölçümler ile Biberin Yaprak Su Potansiyelinin Belirlenmesi

Görkem Gürses¹ Gökhan Çamoğlu^{2*}

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Çanakkale

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bitki Stresi İzleme ve Termografi Lab. Çanakkale

*Sorumlu yazar: camoglu@comu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.03.2019

Kabul Tarihi: 29.04.2019

Öz

Bitkisel üretimde verimi ve ürün kalitesini sınırlayan etmenlerden biri de bitkinin maruz kaldığı su stresidir. Uzaktan algılamada spektral yansıma ölçümleri kullanılarak bitkideki su stresi belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, biber (*Capsicum annuum*, L. cv. California Wonder) bitkisinde hem yaprak hem de taç düzeyinde yapılan spektral ölçümler sonucu hesaplanan indekslerin su stresine tepkileri ve yaprak su potansiyeli ile aralarındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu amaçla 2018 yılında Çanakkale’de kurulan denemede, bir tam sulama (kullanılabilir nemin %100’ü) ve üç su stresi düzeyi (tam sulamanın %75’i, %50’si ve %25’i) olmak üzere 4 farklı sulama konusu ele alınmıştır. Yaprak düzeyindeki yansıma ölçümleri 1°, taç düzeyindeki ölçümler ise 25° görüş açılı lens kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen bu yansıma değerlerinden bitkinin fizyolojik durumuna hassas olan Su İndeksi (WBI), Değişken Konumlu Su Bant İndeksi (fWBI), Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI), Basit Oran (SR) ve Kırmızı-Yeşil Oran İndeksi (RGI) olmak üzere beş farklı spektral indeks hesaplanmıştır. Çalışma sonucuna göre yaprak düzeyinde hesaplanan indekslerden sadece SR, taç düzeyinde hesaplanan indekslerden de fWBI, NDVI ve RGI su stresini ayırt etmede diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. Ayrıca genel itibarıyla taç ölçümlerinin yaprak düzeyindeki ölçümlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yaprak su potansiyeli ile her iki ölçüm tekniğiyle de hesaplanan spektral indeksler arasında önemli ilişkiler elde edilmiştir. Regresyon analizi sonuçlarına göre; en yüksek belirtme katsayıları (R^2), yaprak düzeyinde WBI ve fWBI ($R^2=0,87$), taç düzeyinde de fWBI ve RGI ($R^2=0,86$) indeksleri ile yaprak su potansiyeli arasında olmuştur. Sonuç olarak her iki ölçüm tekniğiyle hesaplanan spektral indekslerin biberde su stresinin ve yaprak su potansiyelinin belirlenmesinde önemli potansiyele sahip olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Spektrometre, Uzaktan algılama, Biber, Su stresi, Yaprak su potansiyeli

Determination of Leaf Water Potential of Pepper with Spectral Measurements at the Leaf and Canopy Level

Abstract

One of the factors limiting the yield and quality in crop production is the water stress to which the plant is exposed. In the remote sensing, water stress in the plant can be determined by using spectral reflectance measurements. In this study, responses to water stress of the indices calculated by spectral measurements at the leaf and canopy level in pepper (*Capsicum annuum* L. cv. California Wonder) and the relationships between leaf water potential and these indices were investigated. For this purpose, in 2018, in Canakkale, four different irrigation treatments (full irrigation (100% of available moisture) and three levels of water stress (75%, 50% and 25% of full irrigation)) were discussed. Reflectance measurements at leaf level were measured at 1°, and at canopy level measurements were made using a 25° view angle lens. Five different spectral indices (Water Band Index (WBI), floating-position water band index (fWBI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Simple Ratio (SR), Red/Green Index (RGI)) which were sensitive to the physiological traits of the plant were calculated from these reflectance values. According to the results of the study, only SR from the indices calculated at the leaf level and fWBI, NDVI and RGI from the indices calculated at the canopy level were found to be more successful than others in distinguishing water stress. In addition, canopy measurements were generally better than leaf level measurements. Significant relationships were obtained between leaf water potential and spectral indices calculated by both measurement techniques. According to the results of regression analysis; the highest coefficients of determination (R^2) between the leaf water potential and the indices were in WBI and fWBI ($R^2 = 0.87$) at the leaf level, fWBI and RGI ($R^2 = 0.86$) indices at the canopy level. As a result, it can be said that the spectral indices calculated with both measurement techniques have significant potential for determining water stress and leaf water potential in pepper.

Keywords: Spectroradiometer, Remote sensing, Pepper, Water stress, Leaf water potential



Giriş

Verim ve kalite kaybı yaşanmaması için bitkilerin su stresine girmemesi oldukça önemlidir. Bunun için de topraktaki nemin sürekli olarak optimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Yaz aylarında ve özellikle havanın çok sıcak olduğu günlerde bitkilerde su kaybı yaşanmakta ve buna bağlı olarak da su stresi fark edilir duruma gelene kadar bitkilerde zarara yol açmaktadır. Gözle görülemeyen bu zararlar da verim ve kalite kayıplarına yol açabilmektedir.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde suyun etkin ve tam verimle kullanılmasına olan ihtiyaç sayesinde araştırmacılar sulama programlamasında yeni teknolojilerin geliştirilmesi yönünde teşvik edilmiştir. Buna bağlı olarak son yıllarda bitkilerin fizyolojik durumunun bitkiye zarar vermeden hızlı bir biçimde algılanmasına olanak sağlayan uzaktan algılama çalışmaları çeşitli bitkilerde araştırmalara konu olmaktadır (Camoglu ve Genc, 2013; Demirel ve ark., 2014a; Zhao ve ark., 2016; Dongwang ve ark., 2018).

Çanakkale yöresinde biber üretimi önemli bir yer almakta ve her geçen gün ekiliş oranları artmaktadır. Sebzeler arasında biber üretimi domatesten sonra ikinci sırada gelmektedir. İl, Türkiye salçalık biber üretiminde ilk sırada yer almaktadır (Anonim, 2015).

Geçmişten günümüze su stresinin biber bitkisi üzerine etkisi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır (Dorji ve ark., 2005; Gonzalez-Dugo ve ark., 2007; Sezen ve ark., 2014; Kuşçu ve ark., 2016; Köksal ve ark., 2017). Buna karşın uzaktan algılama teknikleri hızla gelişirken ülkemizde biber bitkisinde ve diğer bitkilerde bu konuda yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Spektral veriler ile çok sayıda spektral indeks hesaplanabilmekte ve bitkilerde su stresine bağlı semptomlar da belirlenebilmektedir. Spektrometre ölçümleri genellikle ya yaprak düzeyinde ya da bitki taç düzeyinde olmaktadır. Biber bitkisinde her iki düzeydeki ölçümün de aynı anda kullanılması ve verilerin karşılaştırılarak su stresini belirlemede en doğru indekslerin hesaplanması konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu da çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın amacı, biber bitkisinde su stresinin ve yaprak su durumunun hem yaprak hem de taç düzeyinde yapılacak spektral ölçümler yardımıyla tespit edebilme potansiyelini araştırmak ve en iyi sonuç verecek spektral indeks veya indeksleri belirlemektir.

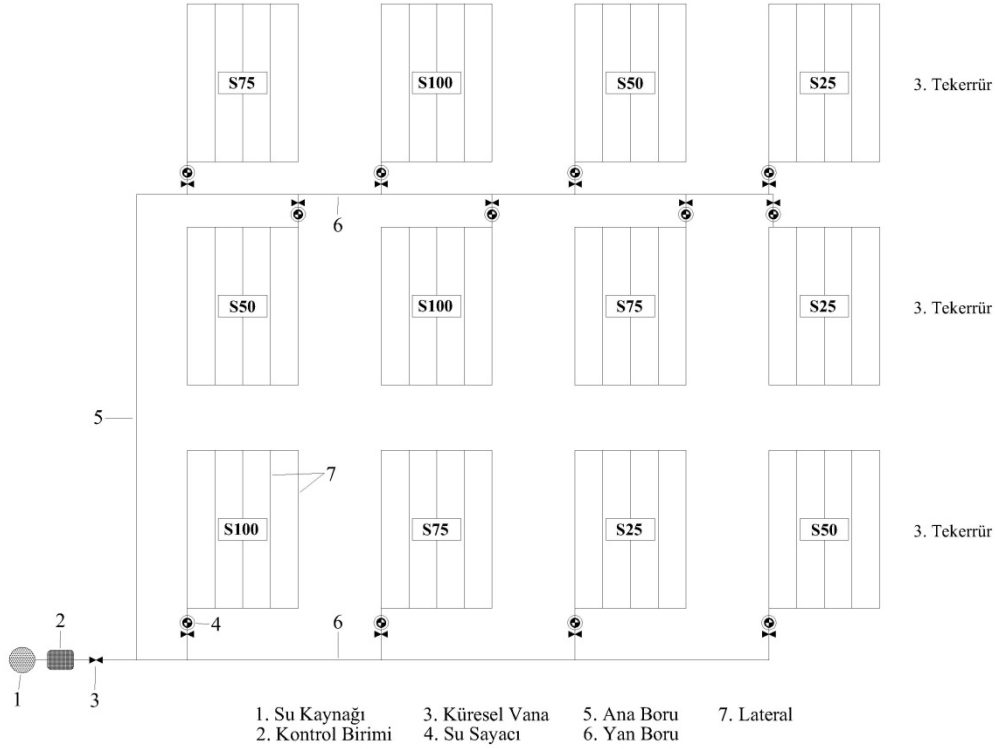
Materyal ve Yöntem

Araştırma alanın tanımı ve deneme deseni

Deneme, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitkisel Üretim Araştırma ve Uygulama Birimi'nde yürütülmüştür. Denemede bitki materyali olarak su stresine hassasiyeti yüksek olan biber bitkisi (*Capsicum annuum* L. cv. 'California Wonder') kullanılmıştır.

Deneme alanı toprakları kumlu-tınlı bünyeye sahip olup tarla kapasitesi, solma noktası ve hacim ağırlığı değerleri 0-30 cm toprak katmanı için sırasıyla %34,9, %22,4 ve 1,49 grcm⁻³; 30-60 cm derinlik için de %33,9, %19,3 ve 1,53 gr cm⁻³ olarak elde edilmiştir. Deneme alanında kullanılan suda yapılan ölçümlerde, elektriksel iletkenlik 1,3 dS m⁻¹ ve pH 7,9 olarak bulunmuştur. Denemenin devam ettiği aylarda ortalama değerler sıcaklık için 22,7 °C, bağıl nem için %64,3 ve rüzgar hızı için 3,3 m sn⁻¹ olarak kaydedilmiştir.

Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre 4 sulama konusu ve 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve buna uygun damla sulama sistemi tesis edilmiştir (Şekil 1). Fideler, sıra arası 70 cm ve sıra üzeri 33 cm olacak şekilde 25 Mayıs 2018 tarihinde dikilmiştir. Her bir tekerrürde 5 bitki sırası ve her bir sırada da 20 bitki olacak şekilde dizayn edilmiştir. Denemede parsel boyutları 3,5 m x 6,6 m (23,1 m²) olmuştur. Parseller arasında konuların birbirini etkilememesi için 2,1 m x 6,6 m boyutunda bir alan parsel dışı bırakılmıştır. Çıplak toprak yüzeyinin yansımaları etkilememesi için söz konusu alana da bitki dikimi yapılmıştır. Denemede ele alınan sulama konuları Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneme deseni ve sulama sistemi

Çizelge 1. Denemede ele alınacak sulama konuları

Sulama Konusu	Açıklama
S100	0-60 cm toprak derinliğindeki kullanılabilir nemin $\%40\pm 5$ 'i tüketildiğinde eksilen nemin tarla kapasitesine tamamlanması
S75	S100 konusunda tüketilen suyun $\%75$ 'i
S50	S100 konusunda tüketilen suyun $\%50$ 'si
S25	S100 konusunda tüketilen suyun $\%25$ 'i

Deneme başlamadan önce her bir tekerrürün 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm toprak derinliklerine toprak nem sensörleri (Decagon GS1 model) yerleştirilmiştir. Daha sonra toprak nemi düzenli olarak gravimetrik yöntemle izlenmiştir. Sensörler sayesinde elde edilen değerlere karşılık gravimetrik nem değerleri arasında doğrusal regresyon analizi yapılarak kalibrasyon eşitlikleri elde edilmiştir. Uzaktan izleme sistemi (Devint) ile internet ortamında toprak nem sensörlerinin verileri anlık olarak takip edilerek sulamaya başlama zamanına karar verilmiştir.

İlk sulamayla birlikte dikimden sonraki 45. güne (DSG_{45}) kadar tüm bitkiler eşit olarak sulanmıştır. Konulara göre ilk sulamaya S100 konusunun etkili kök derinliğindeki (60 cm) kullanılabilir nemin $\%40\pm 5$ 'inin tüketildiğinde (11 Temmuz) başlanmıştır. Sonraki sulamalar yine S100 konusunda kullanılabilir nemin $\%40\pm 5$ 'i tüketildiğinde yapılmıştır. Belirlenen mm cinsinden su miktarları, sulanacak alan ve örtü yüzdesi ile çarpılarak hacme çevrilmiş ve su sayacı yardımıyla kontrollü olarak deneme parsellerine uygulanmıştır. Örtü yüzdesi, her sulama öncesinde rasgele seçilen 5 bitkinin taç genişliğinin sıra arasına bölünmesiyle elde edilmiştir. Söz konusu değer en az $\%30$ alınmıştır.

Yaprak su potansiyeli

Yaprak su potansiyeli, basınç odası aleti (PMS Model 1000) yardımıyla her bir tekerrürde 3 farklı bitkiden alınan yapraklarda ölçülmüştür (Şekil 2). Ölçümlerde bitkinin söz konusu dönemdeki tam gelişmiş güneş gören yaprakları kullanılmıştır. Söz konusu ölçümler sulama öncesinde ve gün ortasında yapılmıştır.



Şekil 2. Yaprak su potansiyeli ölçümü

Spektral Ölçümler

Spektral ölçümler her sulamada spektrometre ile hem yaprak düzeyinde hem de taç düzeyinde yapılmıştır (Şekil 3). Ölçümler havanın bulutlu olmadığı güneşli günlerde saat 10:00 ile 14:00 arasında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerden hemen önce spektrometre ile referans ölçüm alınmıştır. Bunun için 9 cm çapındaki BaSO₄ plakası kullanılmıştır. Yaprak düzeyindeki ölçümler 1° görüş açılı lens kullanılarak 20 cm mesafeden ve 0,35 cm² alanı görecektir şekilde yapılmıştır. Bitki örtüsü düzeyindeki ölçümler ise 25° görüş açılı lens kullanılarak bitkinin taç genişliğini aşmayacak bir alanı görecektir şekilde yapılmıştır. Her bir noktada, art arda 3 kez yansıma ölçümü alınmıştır. Bu ölçümlerin ortalamalarından yararlanılarak bitki su stresine hassas olan beş farklı spektral indeks hesaplanmıştır (Çizelge 2).



Şekil 3. Spektrometre ile taç düzeyinde ölçüm (a) ve yaprak düzeyinde ölçüm (b)



Çizelge 2. Denemede kullanılan spektral indeksler

Spektral İndeks	Eşitlik	Kaynak
Su İndeksi (WBI)	$WBI = \frac{R_{900}}{R_{970}}$	Penuelas ve ark. (1997)
Değişken konumlu su indeksi (fWBI)	$fWBI = \frac{R_{900}}{\min(R_{930-980})}$	Strachan ve ark. (2002)
Normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi (NDVI)	$NDVI = \frac{R_{800} - R_{680}}{R_{800} + R_{680}}$	Rouse ve ark. (1973)
Basit oran (SR)	$SR = \frac{R_{900}}{R_{680}}$	Jackson ve ark. (1980)
Kırmızı-Yeşil Oran İndeksi (RGI)	$RGI = \frac{R_{690}}{R_{550}}$	Zarco-Tejada ve ark. (2005)

İstatistiksel analiz

Denemede hesaplanan spektral indeksler arasındaki farkın önemli olup olmadığı ($P < 0.05$) tek yönlü varyans analizi ile belirlenmiştir. Farkın önemli olması durumunda, konular arasındaki farklılığı belirlemek için Duncan'ın Çoklu Karşılaştırma Testi ($P < 0.05$) kullanılmıştır. Spektral indeksler ile yaprak su potansiyeli arasındaki ilişkilerin belirlenmek için tek değişkenli regresyon analizi yapılmıştır. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde IBM SPSS 20.0 paket programı kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Spektral indeksler

Yetiştirme periyodu boyunca, biber bitkisinin yaprak ve tacından ölçülen spektral yansıma değerlerinden hesaplanan Su İndeksi (WBI), Değişken Konumlu Su İndeksi (fWBI), Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI), Basit Oran (SR) ve Kırmızı-Yeşil Oran İndeksi (RGI) değerlerinin sulama konularına göre değişimleri Çizelge 2'de verilmiştir. Spektral indekslerin su stresinin ayırt etmedeki başarısı iki şekilde ele alınmıştır. İlki tüm konuların birbirinden farklı grupta yer alması, ikincisi de indeksin S100 konusunu en yakın stres konusu olan S75'den ayırt edebilme başarısı bakımından değerlendirilmiştir.

Genel olarak sulama suyu miktarındaki artışa bağlı olarak WBI, fWBI, NDVI ve SR değerleri artarken RGI değerleri azalmıştır (Çizelge 3). Yaprak düzeyinde hesaplanan indekslerden sadece SR değerlerinde konular birbirinden tamamen istatistiksel olarak ayrılmıştır. Taç düzeyinde hesaplanan indekslerden fWBI, NDVI ve RGI değerlerinde konuların tümü istatistiksel olarak birbirinden farklı grupta yer almıştır. Diğer bir ifade ile su stresini ayırt etmede söz konusu indeksler diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. RGI indeksi dışındaki diğer tüm indeksler hem yaprak hem de taç düzeyindeki ölçümlerde S100 konusunu su stresinin en az uygulandığı S75 konusundan dahi ayırt edebilmiştir. Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında taç düzeyindeki ölçümlerin yaprak düzeyine göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Çamoğlu ve ark. (2018) farklı sulama düzeylerinde sivri biberin (Demre) spektral yansıma tepkilerini araştırdıkları çalışmalarında, taç düzeyinde yapılan ölçümlerde WBI değerlerinin 1,05-1,11, NDVI değerlerinin 0,69-0,84 ve SR değerlerinin de 6,94-12,01 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Hesaplanan üç indekste de S100 ile S75 konusu arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır. Bu çalışmada ise söz konusu indeksler aynı deneme konularını ayırt edebilmiştir. Bunun nedeni olarak her iki çalışmada kullanılan biber bitkisinin farklı çeşitlere sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuç, aynı bitki türünün farklı çeşitlerinde su stresine bağlı spektral tepkilerin farklı olabileceğini göstermektedir. Farklı bitkilerde yapılan çalışmalarda da ele alınan bu indekslerin su stresini belirlemede kullanışlı birer araç olabileceği bildirilmiştir. Nicacias (2009) ile Mastrovilli ve ark. (2010) domateste stresli ve stressiz bitkilerde yaptıkları ölçümlerde NDVI değerinin su stresinin artışına bağlı olarak azaldığını bildirmişlerdir. Demirel ve ark. (2014b) rokada yaptıkları çalışmada SR indeksinin su stresini belirlemede başarılı olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Yapraktan ve taçtan hesaplanan spektral indeksler arasındaki farklılık bakımından değerlendirildiğinde, WBI dışındaki tüm indeksler arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmuştur.



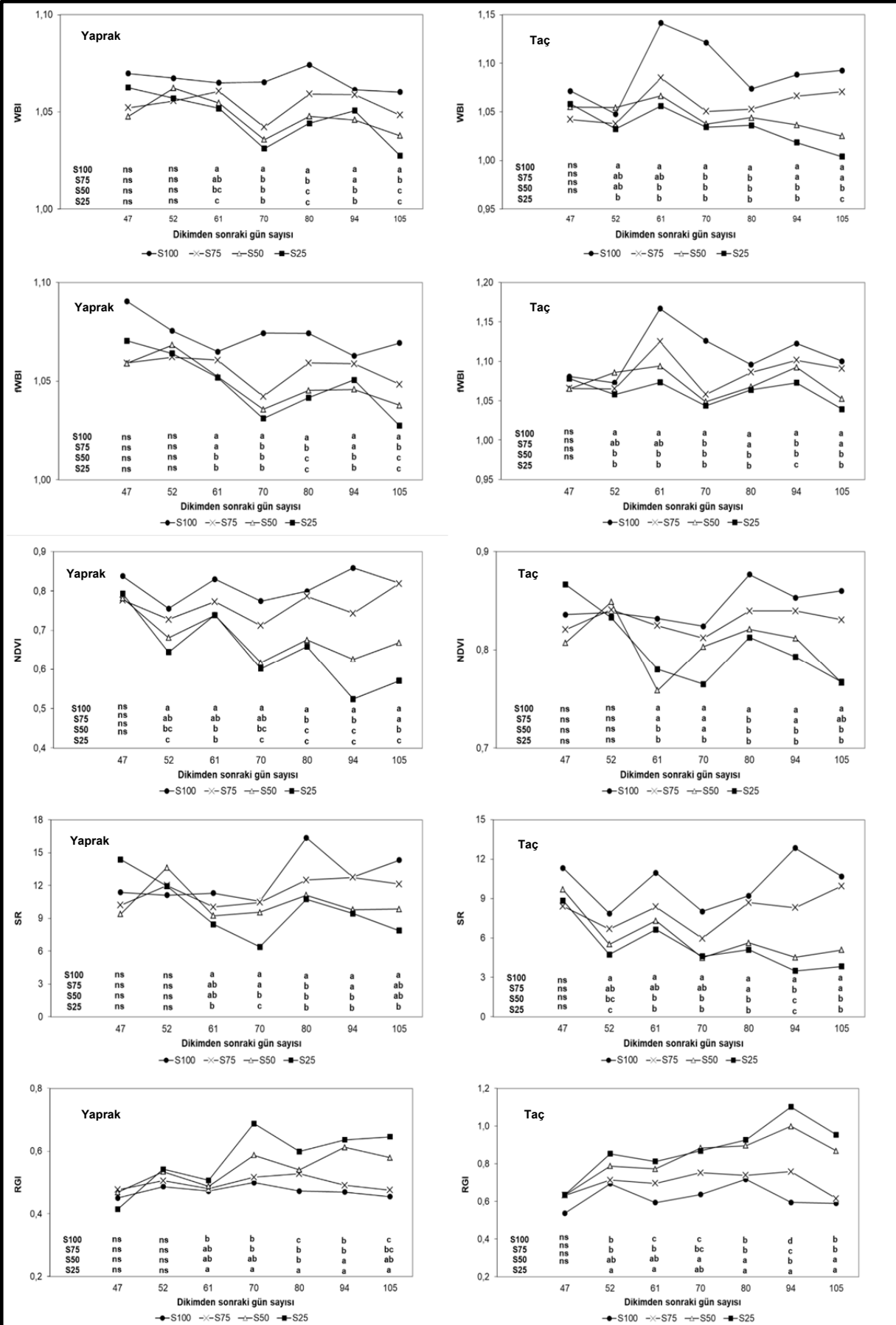
Bu durum yaprak ve taç ölçümleri sonucu elde edilecek indekslerin su stresini ayırt etmede farklı olabileceğini göstermiştir.

Çizelge 3 Sulama konularına göre yaprak ve taçtan hesaplanan spektral indekslerin değişimi

Spektral indeks	Ölçüm şekli	Sulama konuları				
		S100	S75	S50	S25	Ortalama
WBI	Yaprak	1,066 A	1,054 B	1,047 C	1,044 C	1,053 ^{ns}
	Taç	1,094 A	1,060 B	1,044 BC	1,030 C	1,057
fWBI	Yaprak	1,070 A	1,055 B	1,047 C	1,044 C	1,054 [*]
	Taç	1,114 A	1,088 B	1,073 C	1,058 D	1,083
NDVI	Yaprak	0,847 A	0,831 B	0,802 C	0,792 C	0,818 [*]
	Taç	0,806 A	0,760 B	0,668 C	0,623 D	0,714
SR	Yaprak	12,73 A	11,64 B	10,53 C	9,13 D	11,01 [*]
	Taç	9,93 A	7,99 B	5,43 C	4,73 C	7,02
RGI	Yaprak	0,476 C	0,499 C	0,557 B	0,603 A	0,534 [*]
	Taç	0,638 D	0,712 C	0,868 B	0,920 A	0,785

* : p<0.05, ns: önemsiz, Not: Farklı büyük harfler konular arasındaki farkı göstermektedir.

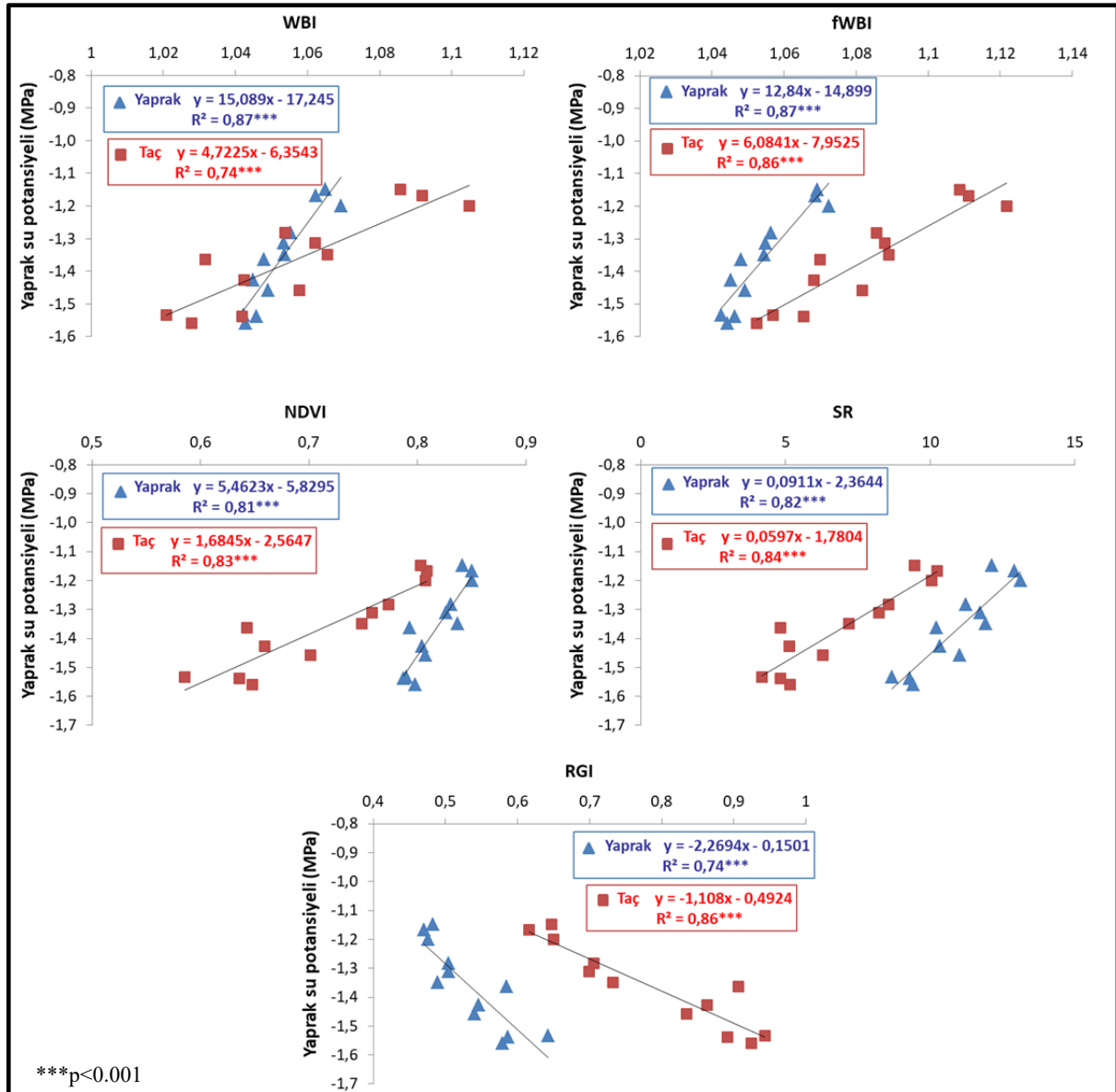
Tüm indekslerin dönem boyunca değişimini gösteren Şekil 4 incelendiğinde, genel olarak RGI dışındaki indekslerin tümünde S100 konusuna ilişkin eğrinin en üstte, S25 konusuna ait eğrinin de en altta olduğu görülmektedir. RGI indeksinde ise bu durumun tersi gerçekleşmiştir. Yaprak düzeyinde belirlenen spektral indekslerden NDVI dışındaki tüm indekslerde ilk iki ölçümde konular arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Bu durum taç ölçümlerinde (NDVI hariç) sadece ilk ölçümde gerçekleşmiştir. Diğer bir ifadeyle taç ölçümlerinde ikinci ölçümden itibaren stresin etkisi anlaşılmasına başlanmıştır. İlk ölçümlerde konular arasındaki farklılığın çıkmaması, sulama uygulamalarına yeni geçilmesi ve bitkilerin henüz yapraklarındaki suyu ve pigmenti kaybetmemiş olması ile açıklanabilir. Nitekim Çamoğlu ve ark. (2019) da domateste yaptıkları çalışmada bu durumu bu şekilde açıklamışlardır. İlerleyen zamanlarda su stresinin etkileri hissedilmeye başlanmış ve konular arasındaki farklar daha da açılmıştır. S100 konusunun S75 konusundan ayırt edilebilmesi bakımından, yaprak düzeyinde; WBI ve fWBI DSG₇₀, DSG₈₀ ve DSG₁₀₅'de, NDVI DSG₈₀ ve DSG₉₄'de, SR ve RGI ise sadece DSG₈₀'de başarılı bulunmuştur. Aynı değerlendirme taç için yapıldığında; WBI DSG₇₀ ve DSG₈₀'de, fWBI DSG₇₀ ve DSG₉₄'de, NDVI DSG₈₀'de, SR DSG₉₄'de ve RGI ise DSG₆₁ ve DSG₉₄'de S100 konusunu S75 konusundan ayırt edebilmiştir. Sadece DSG₉₄'de taç düzeyinde hesaplanan RGI indeksinde konuların tümü istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur.



Şekil 4. Spektral indekslerin dönem boyunca değişimi

Spektral indeksler ile yaprak su potansiyeli arasındaki ilişkiler

Dönem boyu belirlenen spektral indekslerin ortalaması ile eş zamanlı olarak ölçülen yaprak su potansiyeli değerlerinin ortalaması arasında yapılan doğrusal regresyon analizi sonuçlarına göre elde edilen R^2 değerleri yaprak düzeyinde hesaplanan indekslerde 0,74-0,87, taç düzeyinde ise 0,74 ile 0,86 arasında değişmiştir. Yaprak su potansiyelinin artışıyla birlikte WBI, fWBI, NDVI ve SR artarken RGI azalmıştır. YSP ile en yüksek ilişkiler yaprak düzeyinde hesaplanan WBI ve fWBI indeksleri arasında olmuştur. Ancak YSP ile taç düzeyinde belirlenen fWBI ve RGI arasındaki ilişkinin gücü de oldukça iyi bulunmuştur. Elde edilen tüm R^2 değerleri $p < 0.001$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Penuelas ve ark. (1994) ayçiçeğinde yaptıkları çalışmada PRI, NDVI ve WBI indekslerinin su potansiyeli ile iyi bir korelasyona sahip olduğunu bildirmişlerdir. Jones ve ark. (2004) üç bitki türünde (mısır, ıspanak ve taze fasulye) bitki su içeriği ile farklı bant (950-970 nm, 1150-1260 nm, 1450 nm, 1950 nm ve 2250 nm) ve indeksler (WBI, NDVI, SIPI, fWBI ve WBI/NDVI) arasındaki ilişkileri araştırdıkları çalışma sonucunda; mısır ve taze fasulyede 1450 nm'deki yansıma verisinin ($R^2 = 0,67$ ve $0,50$), ıspanakta da 950-970 nm'den olan yansıma verisinin ($R^2 = 0,94$) en iyi tahmini sağladığını bulmuşlardır. Rodriguez-Perez ve ark. (2007) bağda yaptıkları çalışmada yaprak su potansiyeli ile WBI, fWBI, NDVI, SR ve RGI indeksleri arasında oldukça önemli ilişkiler elde edildiğini ve en iyi korelasyonun RGI ile arasında olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 5. Spektral indeksler ile yaprak su potansiyeli arasındaki regresyon analizleri



Çamoğlu ve ark. (2013) farklı zeytin çeşitlerinde yaptıkları çalışmada çok değişkenli regresyon analizi sonucu spektral indeksler ile yaprak su potansiyeli arasındaki R^2 değerini 0,81 olarak belirlemişlerdir. Çamoğlu ve ark. (2018) sivri biberde yaptıkları çalışmada, bitki su durumunun göstergesi olan yaprak oransal su içeriği ile taç düzeyinden hesaplanan WBI, NDVI, SR ve SAVI arasındaki R^2 değerlerini 0,41 (WBI) ile 0,65 (NDVI) arasında bulmuşlardır. Bu çalışmada elde edilen R^2 değerlerinin Çamoğlu ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada elde edilenlere göre daha yüksek çıkması, kullanılan biber çeşidinin farklı olmasından veya bitki su durumunun göstergelerinden yaprak su potansiyelinin indeksler ile daha iyi bir korelasyona sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Biber bitkisinde su stresinin ve yaprak su potansiyelinin farklı spektral ölçüm teknikleri (yaprak ve taç) ile belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma sonucunda, ele alınan her bir spektral indeksin (WBI, fWBI, NDVI, SR ve RGI) strese karşı önemli tepkiler verdiği ortaya çıkmıştır. Genel itibariyle taç düzeyinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen indekslerin yaprak düzeyine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. İndeksler arasında özellikle taç düzeyinde hesaplanan fWBI, NDVI ve SR tüm konuları birbirinden ayırt etmiştir. Bu da tüm stres düzeylerini söz konusu indekslerin başarı ile ayırt edebileceğini göstermiştir. Sulamaya başlama zamanı için eşik değerin belirlenmesi açısından bir değerlendirme yapılırsa, sadece yaprak düzeyinde hesaplanan RGI dışında diğer tüm indeksler her iki ölçüm tekniğinde de iyi sonuçlar vermiştir. Yaprak su potansiyeli ile spektral indeksler arasındaki regresyon analizi sonuçlarına göre her iki ölçüm tekniğiyle hesaplanan indekslerin biberin yaprak su potansiyelini belirlemede kullanılabileceği söylenebilir. En yüksek ilişkiler yaprak düzeyinde WBI ve fWBI ($R^2=0,87$), taç düzeyinde de fWBI ve RGI ($R^2=0,86$) indekslerinde olmuştur. Çalışmanın sonucu olarak su stresinin ayırt edilmesinde ve sulama zamanının belirlenmesinde incelenen spektral indekslerin kullanılabileceği; ayrıca ölçümü zor, zahmetli ve zaman alıcı olan ancak bitki su durumunu önemli oranda ortaya koyan yaprak su potansiyelinin söz konusu indeksler ile daha kolay ve hızlı şekilde belirleme potansiyeli olduğu ortaya çıkmıştır.

Not: Bu çalışma, Görkem GÜRSES'in Yüksek Lisans tez çalışmasından hazırlanmıştır. Çalışma, TÜBİTAK (Proje No: 116O264) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Anonim, 2015. “Çanakkale İli Tarımsal Yatırım Rehberi”. Erişim: Ağustos 2015. https://www.tarim.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/il_yatirim_rehberleri/canakkale.pdf
- Camoglu, G., Kaya, U., Akkuzu, E., Genc, L., Gurbuz, M., Pamuk Mengü, G., 2013. Prediction of leaf water status using spectral indices at young olive trees. *Fresenius Environmental Bulletin*. 22(9a):2713- 2720.
- Camoglu, G., Demirel, K., Genc, L., 2018. Use of Infrared thermography and hyperspectral data to detect effects of water stress on pepper. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*. 15(1):81-94.
- Çamoğlu, Genç L., 2013. Taze Fasulyede su stresinin belirlenmesinde termal görüntülerin ve spektral verilerin kullanımı. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 1(1):15-27.
- Çamoğlu, G., Demirel, K., Genç, L., 2019. Termal kamera ve NDVI sensörü kullanılarak domatesin fizyolojik özelliklerinin tahminlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 23(1):78-89.
- Demirel, K., Genc L., Bahar, E., Inalpulat, M., Smith, S., Kizil, U., 2014a. Yield estimate using spectral indices in eggplant and bell pepper grown under deficit irrigation. *Fresenius Environmental Bulletin*. 23(5):1231-1237.
- Demirel, K., Camoglu, G., Genc, L., Kizil, U., 2014b. The Variation of plant stress indicators and some traits under different irrigation and nitrogen levels in the rocket. *Fresenius Environmental Bulletin*. 23(5):1238-1248.
- Dongwang L., Yongjiang, Z., Liantao, L., Hongchun, S., Yuchun, L., Zhiying, B., Cundong, L., 2018. Responses of canopy photosynthesis, spectral indices and solar-induced chlorophyll fluorescence in cotton under drought stress. *Cotton Science*. 30(3):242-251.
- Dorji, K., Behboudian, M.H., Zegbe-Dominguez, J.A., 2005. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Scientia Horticulturae*. 104(2):137-149.
- Gonzales-Dugo, V., Orgaz, F., Fereres, E., 2007. Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. *Scientia Horticulturae*. 114(2):77-82.
- Rodriguez-Perez, J.R., Riano, D., Carlisle, E., Ustin, S., Smart, D.R., 2007. Evaluation of hyperspectral reflectance indexes to detect grapevine water status in vineyards. *Am. J. Enol. Vitic*. 58(3):302-317.



- Jackson, R.D., Pinter, P.J., Jr., Reginato, R.J., Idso, S.B., 1980. Hand-held radiometry. A Set of Notes Developed for Use at the Workshop on Hand-Held Radiometry, 25–26 February, Phoenix, Arizona.
- Jones, C.L., Weckler, P.R., Maness, N.O., Stone, M.L., Jayasekara, R., 2004. Estimating Water Stress in Plants Using Hyperspectral Sensing, ASAE/CSAE Annual International Meeting, 1-4 August, Paper Number: 043065.
- Köksal, E.S., Tasan, M., Artık, C., Gowda, P., 2017. Evaluation of financial efficiency of drip-irrigation of red pepper based on evapotranspiration calculated using an iterative soil water-budget approach. *Scientia Horticulturae*. 226:398-405.
- Kuşçu, H., Turhan, A., Özmen, N., Aydınol, P., Demir, A.O., 2016. Response of red pepper to deficit irrigation and nitrogen fertigation. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 62(10):1396-1410.
- Mastrorilli, M., Campi, P., Palumbo, A.D., Modugno, F., 2010. Ground-based remote sensing for assessing tomato water-status. *Italian Journal of Agronomy*. 5:177-183.
- Nicacias, M.M., 2009. Evaluating the effect of moisture stress on tomato using non-destructive remote sensing techniques. Master Thesis, School of Agricultural and Environmental Science, Faculty of Science and Agriculture, University of Limpopo.
- Penuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J., Field, C.B., 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. *Remote Sens. Environ.* 48:135-146.
- Penuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R., Fiella, I., 1997. Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*. 18:2869-2875.
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *Proceedings of the Third ERTS Symposium (309-317 pp)*, (Goddard Space Flight Center), DC: NASA, NASA SP-351, Washington.
- Sezen, S.M., Yazar, A., Daşgan, Y., Yucel, S., Akyıldız, S., Tekin, S., Akhoundnejad, Y., 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agricultural Water Management*. 143:59-70.
- Strachan, I.B., Patey, E., Boisvert, J.B., 2002. Impact of nitrogen and environmental conditions on corn as detected by hyperspectral reflectance. *Remote Sensing of Environment*. 80(2):213-24.
- Zarco-Tejada P.J., Berjon, A., Lopez-Lozano, R., Miller, J.R., Martin, P., Cachorro, V., Gonzalez, M.R., de Frutos, A., 2005. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sens. Environ.* 99:271-287.
- Zhao, S., Wang, Q., Yao, Y., Du, S., Zhang, C., Li, J., Zhao, J., 2016. Estimating and validating wheat leaf water content with three MODIS spectral indexes: A Case Study in Ningxia Plain, China. 18:387-398.