

VERİM TAHMİNİ ÇALIŞMALARINDA YENİ YAKLAŞIMLAR: UZAKTAN ALGILAMA VE AGROMETEOROLOJİK YÖNTEMLER

Namık Kemal SÖNMEZ¹ Mustafa SARI²

¹Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü

²Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü

ÖZET

Tarımsal ürünlerin daha hasat öncesi bir dönemde alansal dağılımlarının belirlenmesi ve verim miktarlarının tahmin edilebilmesi, özellikle iç ve dış pazar koşullarının yönlendirilmesinde son derece önemlidir. Klasik yersel ölçümleme teknikleri ile yürütülen alan ve rekolte belirleme çalışmaları çoğu kez güvenilir sonuçlar vermediği gibi son derece yüksek bir maliyet ve oldukça da uzun bir zaman harcanmasını gerektirmektedir. Buna karşılık son yıllarda geliştirilen yeni teknik ve teknolojiler, bu işlemlerin daha ucuz, daha hızlı ve daha güvenilir bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaya başlamıştır. Söz konusu bu yeni teknik ve teknolojiler arasında ise uzaktan algılama bilim ve teknolojisi ilk sırayı almaktadır. Pek çok gelişmiş ülke, gerek ekim alanlarının tespitini ve gerekse verim tahminlerini, çeşitli uzaktan algılama tekniklerini kullanarak büyük bir doğruluk oranı ile yapmaktadırlar. Diğer yandan, özellikle verim tahmini çalışmalarında artık uydu verileri ile birlikte çeşitli agrometeorolojik elemanların kullanıldığı modern istatistiksel yöntemlerden de büyük ölçüde yararlanılmaktadır. Söz konusu bu makalede, alan belirleme ve verim tahmini çalışmalarında çeşitli uzaktan algılama tekniklerinin ve agrometeorolojik verilerin kullanılma olanakları tartışılmıştır. Sonuç olarak, ülkemizde de bu amaca yönelik çalışmaları yeni bilimsel ve teknik temellere dayandırabilmek için, agrometeorolojik elemanların ve uzaktan algılama tekniklerinin birlikte kullanıldığı ve farklı ekolojik bölgelere hitap edebilecek metodların geliştirilmesinin ve uygulanmasının bir zorunluluk olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Alan belirleme, Verim tahmini, Uzaktan algılama, Agrometeorolojik veriler

NEW APPROACHES TO THE YIELD ESTIMATION STUDIES: REMOTE SENSING AND AGROMETEOROLOGICAL METHODS

ABSTRACT

Determination of agricultural areas and yield estimation of agricultural products before harvesting period are important processes for domestic and international markets. Yield and area estimation studies conducted with conventional methods do not provide reliable results and are also costly and time consuming. Recently developed technologies and methods have been proven to be more reliable, faster and relatively inexpensive. Among the latest techniques that have been developed is remote sensing. The remote sensing technology has been employed by many developed countries to assess usage of agricultural fields and to estimate agricultural production with great precision. In addition, today's yield estimation studies also employ, along with satellite data, statistical methods utilizing agro-meteorological data. In this article, possible applications of various remote sensing technologies and agro-meteorological data for agricultural field assessment and yield estimation were discussed. It was concluded that in Turkey such studies have to be based on new technologies, too. Thus, it is necessary to develop new methods that employ both remote sensing technology and agro-meteorological elements that have to be suitable for various ecological regions.

Key Words: Area Determination, Yield Estimation, Remote Sensing, Agrometeorological Data

1. GİRİŞ

Dünya gıda güvenliği açısından bitkisel üretimin ve üretim ortamlarının her yönüyle kontrol altına alınması büyük bir önem arz etmektedir.

Ülkemiz, global ölçekte incelendiğinde, geniş üretim ortamları ve üretim şekilleri ile hem ulusal ve hem de uluslararası düzeyde stratejik bir öneme sahiptir. Diğer taraftan tarım sektörü, hala ciddi yapısal sorunları bulunmakla birlikte,

ülkemiz için gerek istihdama olan katkısı ve gerekse iç ve dış satımlarla yarattığı katma değer bakımından ihmal edilemeyecek bir ekonomik sektördür. Dolayısıyla hızla globalleşen, bununla birlikte her bir ülkenin ekonomik ve sosyal güçleri oranında söz sahibi olabildiği yeni dünya düzeninde ülkemizin de hak ettiği yeri alabilmesi için doğal kaynak yönetimi, sanayi ve turizm sektörü yanı sıra tarım sektöründe de üretimden tüketime kadarki süreçte bilim ve teknolojinin en üst düzeyde kullanılma zorunluluğu bulunmaktadır.

Yakın zamana kadar klasik yer ölçümleme teknikleri ile yapıla gelen alan ve rekolte tahmini çalışmaları, yerini son yıllarda yeni metotlara bırakmış ve özellikle gelişmiş pek çok ülke, söz konusu bu yeni teknik ve teknolojileri etkin bir şekilde kullanmaya başlamıştır. Söz konusu bu yeni teknik ve teknolojiler arasında ise “uzaktan algılama bilim ve teknolojisi” ilk sırayı almış durumdadır. Söz konusu bu yeni teknik, yine son yıllarda hızla geliştirilmeye çalışılan ve tarımsal üretim süreçlerinde etkili olan çeşitli agrometeorolojik veri ve bilgilerin kullanılması temeline dayanan yeni istatistiki metotlar ile desteklenmeye çalışılmakta ve son derece kompleks olan bu metodun, rekolte tahmini çalışmalarındaki etkinliğinin artırılmasına çalışılmaktadır.

Özellikle rekolte tahmini çalışmalarında, uzaktan algılama bilim ve teknolojisi ile birlikte çeşitli agrometeorolojik elemanların da değerlendirilmesine yönelik metodolojik çalışmalara, pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de çok yakın bir geçmişte başlanmıştır. Kısaca “agrometeorolojik modelleme” olarak isimlendirilen söz konusu bu metot geliştirme çalışmaları, tüm dünyada henüz araştırma safhasındadır. Bu güne kadar yapılan araştırmalar, öncelikle bireysel bitkiler

ve/veya bitki örtüsü genelinde süregiden fiziksel ve biyolojik olaylar üzerinde etkili olan agrometeorolojik tüm değişkenlerin etkilerinin geliştirilecek böyle bir modelde detaylı ve parametrik olarak yer alması gerektiğini işaret etmektedir. Bununla birlikte söz konusu bu parametrik değişkenliklerin, bitkilerdeki fotosentetik aktif radyasyon kullanımını ilkelerinin çözümlenmesi esasına dayanan uzaktan algılama veri ve teknikleri ile de entegrasyonunun sağlanması gerekmektedir. Nitekim, söz konusu bu iki farklı yaklaşımın entegre edilebildiği modellerin, verim tahmini çalışmalarında doğruluk oranı oldukça yüksek sonuçların alınmasında etkili olduğu pek çok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir.

2. VERİM TAHMİNİ MODELLEMESİNİN TARİHÇESİ

Verim tahmini modellemeleri, bitki örtüsü ve çevresi arasında var olan çok sayıdaki ilişkiyi tek bir biçim veya tarzda göstermek için yapılır (Rudorf ve Batista 1991). Bununla birlikte, günümüzde kullanılan çeşitli klasik büyüme modellerinin ise kültürel ve meteorolojik faktörlerin bitki üzerindeki etkilerini mükemmel bir şekilde taklit etmeleri ve yansıtmaları da mümkün değildir. Diğer yandan, bu tür büyüme modellemeleri ile potansiyel verimi tahmin etmek için, özellikle geniş alanlarda yayılım gösteren bitki örtüsünü tam vaktinde ve iyi bir şekilde gözlemek te oldukça zordur (Colwell ve ark. 1976). Buna karşılık yakın zamanda yapılan çeşitli çalışmalar, Landsat uydusu gibi sayısal (dijital) formattaki pek çok uydu verisinin verim tahmini çalışmaları için daha uygun olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Nitekim, çok geniş alanları sistematik olarak analiz etme olanağı sağlayan uydu verileri, aynı zamanda da bu veriler

üzerinde kayıtlı olan bitki örtüsünün emsalsiz spektral yansıması (spectral signature) ile agronomik çeşitlilik arasındaki yüksek korelasyonların var olması, hiç şüphesiz verim tahmini modellerinin geliştirilmesi için çalışanları cesaretlendirmektedir.

Deneysel alanlarda yer ölçümlü radyometrik veriler kullanılarak pek çok verim tahmini modellemesi geliştirilmiş olmasına karşın, yer gözlem uydularından elde edilen uzaktan algılama verilerinin de ürün tahmini çalışmalarında kullanıma hazır olduğu ifade edilmektedir (Rudorf ve Batista 1991). Nitekim pek çok gelişmiş ülkede, uzaktan algılama bilim ve teknolojisi sayesinde üretim süreçlerinin izlenmesine ve tarımsal ürünlerde alan ve verim tahminlerinin yapılmasına yönelik çeşitli çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir (Rees 1990). Bununla birlikte çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilen bulgular, uydu verilerinden elde edilen spektral verilerin, bitkisel üretim üzerine etkili olan çeşitli agrometeorolojik veriler ile birlikte kullanılması halinde, daha iyi verim tahmini modellerinin yapılabileceğini göstermektedir (Rudorff ve Batista 1991).

Bitkisel üretim, çeşitli faktörlerin etkisi altındadır ve bu faktörlerin tamamının belirlenmesi ise çok zordur. Çünkü bu faktörler yöreden yöreye, farklı iklimlere ve yıllara göre değişmektedir ve bunlar arasındaki ilişkiler de çok komplekstir. Üretim alanlarında etkili olan değişkenliklerinin açıklanabilmesi, üretimi etkileyen diğer faktörler ve ekonomik politikalar açısından da son derece önemli olmasına rağmen, yetiştirme mevsimi boyunca değişen meteorolojik şartlarla bağlı olan verimdeki yıllık değişimlerin doğrudan takibi de çoğu zaman pek mümkün değildir. Bu nedenle, söz konusu bu faktörlerin verim üzerine olan etkilerinin, bazı modellerle tahmin

edilebilecek bir şekle dönüştürülmesi gerekmektedir (Friedrich ve Batista, 1990).

Günümüzde, bitkisel verimi belirlemek için çeşitli meteorolojik değişkenlerin analizine dayanan kimi modeller yaygın bir şekilde kullanılmakla birlikte Doorenbos ve Kassam (1979), Richardson ve ark. (1982), Rudorff ve Batista (1991) gibi daha pek çok araştırmacı, bitki indeksine dönüştürülen Landsat uydusu verilerinin, bitki verimi üzerine çeşitli faktörlerin kolektif etkisini ifade etmek için etkin bir şekilde kullanılabileceğini ifade etmektedirler. Diğer taraftan özellikle verimle ilişkili çeşitli agronomik parametreler ile bitki yansıma faktörleri arasında önemli korelasyonların bulunması, verim modellerinde uydu verilerine dayalı spektral verilerin kullanılma olanaklarını önemli ölçüde artırmaktadır. Nitekim bu konuda çalışan pek çok araştırmacı, agrometeorolojik verilerle birlikte Landsat uydu verilerinin kullanıldığı çalışmaların, bu verilerin bağımsız olarak kullanıldığı çalışmalardan daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmektedir (Colwell ve ark. 1976; Rudorff ve Batista 1991). Dolayısıyla, günümüzde böyle bir çalışmada izlenmesi gereken yol, uydu verileri ile bitki sınıflarının ve örtü yoğunluklarının tespiti, verim tahminine yönelik ve içerisinde agrometeorolojik unsurların da yer aldığı bitki indekslerinin hesap edilmesi ve tüm bu verilerin değerlendirilmeye alındığı bir modelin geliştirilmesi şeklinde olmalıdır.

3. UYDU VERİLERİ İLE BİTKİ SINIFLARININ BELİRLENMESİ

Verim tahmini yapılacak bir alanda öncelikle çalışma alanında yayılım gösteren bitki sınıflarının tespit edilmesi gerekmektedir. Söz konusu bu tespitlerin yapılmasında, uzaktan algılama bilim ve

teknolojisi, geçerliliği kanıtlanmış kesin sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan bu teknoloji, uydu verileri üzerinde uygulanacak farklı doğrusal modellerle, farklı bitki türlerinin yoğunluk, değerlerinin de hesap edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, öncelikle çalışma alanında görüntü analiz yöntemlerinden özellikle eğitimli sınıflama metodu ile farklı bitkiler sınıflandırılmalı (Sönmez ve Sarı, 1999) ve daha sonra da bitki yoğunlukları belirlenmelidir. Bu aşamadan sonra ise, yine uzaktan algılama verileri kullanılmak suretiyle bitkilerin verimleri ile ilişkili çeşitli fizyolojik özellikleri ile onların spektral özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi gerekmektedir. Bitkilerin beslenme durumları, su eksikliği gibi stres koşulları, hastalık ve zararlı etkileri gibi hususlar, spektral olarak belirlenmesi gereken fizyolojik özellikler arasındadır (Ahlrics ve Bauer 1983, Ömerci ve ark. 1993, Sönmez ve Sarı 1999; Sarı ve ark. 2004).

Akiyama ve ark (1996)'na göre uydu verileri ile yapılan tarımda uzaktan algılama çalışmaları ile, ürün tanımlama ve haritalama işlemleri hızlı bir şekilde ve ürün çeşit ve tiplerine kadar %80'den daha fazla bir doğrulukla yapılabilmektedir. Bitki sınıflarının ve alansal dağılımının belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen başka bir çalışma, Sönmez ve Sarı (1999) tarafından Landsat 5 TM sayısal verileri kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada Akdeniz Bölgesinde yetiştirilen buğday bitkisi diğer örtü tiplerinden ayırt edilerek, alansal dağılımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, bölgedeki buğday ekim alanlarının belirlenmesinde, %95.3'lük bir doğruluk oranına ulaşıldığı ifade edilmiştir.

Sincilair ve ark., Blakemon, Monzer ve Coope gibi araştırmacılar, bitkilerin gelişme periyodu boyunca değişen yaprak iç yapısı ile bu yaprakların enerji kullanımları arasında önemli ilişkilerin olduğunu ifade etmişlerdir. Yine, yapılan bir çok çalışmada verimi etkileyen bitki zararlanmalarının ve çeşitli stres koşullarının, bitkilerde farklı yansımalara neden olduğu belirtilmiştir. Nitekim, Aguino ve ark., sağlıklı ve yaprak lekesine yakalanmış yerfıstığı bitkilerinin verdikleri farklı yansıma değerlerinden yararlanılarak, yaprak lekesi sorunu olan bitkideki verim kaybını belirlemek amacıyla uzaktan algılama teknolojisine dayalı bir çalışma yapmışlar ve sonuçta, sağlıklı ve hastalanmış bitkilerin yansıma değerleri ile bitki verimleri arasında önemli istatistiki ilişkilerin bulunduğunu ifade etmişlerdir (Anonymus 2003).

Buraya kadar yapılan açıklama ve tespitler, bitkisel üretim ortamlarının çeşit ve tür düzeyinde ayırt edilmesinde ve ayrıca verim üzerine etkili olan bitki yoğunluğu ve çeşitli bitki stres koşullarının, çeşitli uzaktan algılama verileri üzerinde kayıtlı olan yansıma değerlerinden yola çıkılarak güvenceyle saptanabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, verim tahmini amaçlı model geliştirmede, uydu verilerinin vazgeçilemez önemi ortaya çıkmaktadır.

4. ÖRTÜ YOĞUNLUĞU TESPİTİ

Verim tahmini modellerinde etkin bir parametre olan bitki örtüsü yoğunluğu, bitki, toprak ve iklim etkileri ile birlikte üretim ortamlarında uygulanan amenajman tekniklerinin de önemli göstergelerinden birisidir.

Dolayısıyla, hazırlanacak modellerde güvenle kullanılacak örtü yoğunluğu belirleme metodlarının da geliştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde yersel veri kaydeden algılayıcılar arasında çözünürlüğü yüksek olan uydu görüntülerinde bile, doğadaki bitkileri doğrudan görmek ve analiz etmek mümkün değildir. Zira uydu tarafından algılanan veriler, bitki örtüsünün, arka plandaki toprak yansımalarının, atmosferik koşulların ve henüz bilinmeyen daha pek çok unsurun bir karışımından ibarettir. Bununla birlikte çeşitli uydu verilerinin bilgisayar ortamında uygun yöntemlerle analiz edilmesi neticesinde, bitki yoğunluğunun belirlenmesine yönelik başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Bu yöndeki çalışmalar hala araştırma safhasında olup, çalışmaların çoğu kez yer gerçeği ölçümlerine gereksinimi bulunmaktadır.

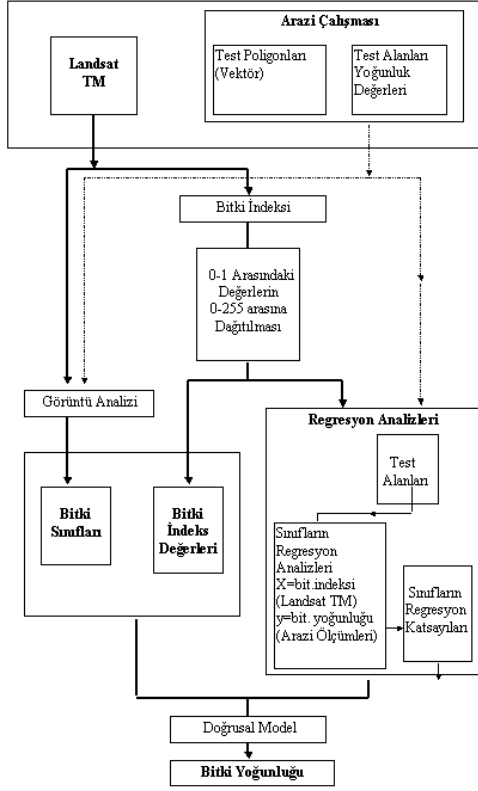
Üretim ortamlarındaki bitkilerin yoğunluk değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla, bitki örtüsüne gelen enerji biçimlerinin saçılma, emilme, yayma ve geri yansımaları esaslarını da içeren karmaşık pek çok model geliştirilmiştir. Diğer taraftan agrometeorolojik, hidrometeorolojik ve ekolojik modellerde kullanılması zorunluluğu bulunan bitki örtüsü yoğunluğunu hesaplamak amacıyla da çeşitli deneysel bitki indeksleri geliştirilmiştir. Söz konusu bu indekslerde, pasif enerji kaynağı olan güneş enerjisinin yer yüzüne ve bitkilere ulaşan görünür ve yakın kızılötesi dalga boyundaki enerji biçimleri, etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Yakın zamana kadar kullanılan en yaygın bitki indeksi, "normalize edilmiş bitki indeksi (NDVI)"dir ve bu indeks, bitkilerin yakın kızılötesi dalga boyundaki enerji biçimi için verdiği yüksek yansıma ve görünür bölgedeki kırmızı dalga boyundaki enerji için verdiği yüksek absorpsiyon özelliğinden yararlanılarak geliştirilmiştir.

Normalize edilmiş bitki indeksi, çeşitli uzaktan algılama verileri için yakın kızılötesi band ve görünür kırmızı band şeklinde tanımlanmış olan enerji değerleri arasındaki farkın, yine bu değerlerin toplamına bölmesi suretiyle elde edilmektedir.

Bitki indeksi kullanılmak suretiyle belirlenecek örtü yoğunluğu çalışmalarının arzu edilen şekli, geniş üretim ortamlarında doğru ve hızlı sonuçlara ulaşılmasını sağlaması bakımından uydu verilerinin kullanılmasıdır. Bununla birlikte, farklı bitki türlerini temsil eden kimi test alanlarında klasik, spektrometrik ve/veya spektrofotometrik yer ölçümleri ile belirlenen bitki yoğunluğu değerleri ile aynı alanlara ait uydu görüntüleri üzerinden belirlenen bitki indeksi değerlerinin uygun istatistiksel yöntemlerle ilişkilendirilmesi temeline dayandırılacak bir model, farklı bitkilerin yoğunluğunu belirleme işlemlerindeki güvenilirliği oldukça yükseltecektir. Bitki yoğunluğunu belirlemede kullanılmak üzere bu kapsamda geliştirilmiş bir işlem akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir (Yıldırım ve ark. 1997).

5. BİTKİ İNDEKSİNİN ESASLARI

Bir önceki bölümde de açıklandığı gibi bitki indeksi, verim tahmini modelleme çalışmalarının vazgeçilmezleri arasındadır. Bu nedenle bitki indeksinin temel esaslarının özellikle uydu verilerinin kullanılması aşamasında daha da detaylandırılması gerekmektedir. Zira uydu verileri, çok geniş ve kompleks üretim ortamlarındaki alan ve verim tahmini çalışmaları için oldukça geniş olanaklar sağlamaktadır. Nitekim mekansal çözünürlüğü kimi yeni nesil uydulara kıyasla düşük olmasına rağmen gerek fiyatının ucuz olması ve gerekse



Şekil 1. Bitki Yoğunluğunun Belirlenmesinde İşlem Akış Şeması (Yıldırım ve ark., 1997)

İlgili bandlarının bitki yoğunluğunun tespitinde kullanılmasına olanak sağlayacak düzeyde bir spektral çözünürlüğe sahip olan Landsat TM ve ETM verileri bile ekili küçük tarlalar arasındaki yansımada değişkenliğin tespitine ve bu yolla bitki indeksi hesaplamalarının yapılmasına izin vermektedir.

Yaşayan bitkiler, üzerlerine gelen farklı dalga boyu aralıklarındaki radyant enerjiyi sahip oldukları fiziksel ve biyokimyasal yapı ve bileşimlerindeki değişkenliklere bağlı olarak absorbe ederler, yayarlar, iletirler ve/veya yansıtırlar. Bitkiler tarafından gerçekleştirilen söz konusu bu olaylar ile ölçülen ve hesaplanan bitki indeksi değerleri arasında ise bitkiden bitkiye

değişen kesin bir ilişki ve denge bulunmamaktadır. Söz konusu bu ilişkilerden yola çıkılarak geliştirilmiş çok sayıda bitki indeksi modeli bulunmaktadır. Bu modellerin çoğu, daha önce de ifade edildiği üzere bitkiler tarafından yakın kızılötesi dalga boyundaki enerjiyi yansıtması ve görünür kırmızı dalga boyundaki enerjiyi ise absorbe etmesi temelinden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Sözü edilen bu enerji boyutları, Landsat TM uydusunun 3. bandındaki yansıma azalması ve 4. bandında da yansıma artışı ile ilgili piksel değerlerine karşılık gelmektedir. Söz konusu bu piksel yansıma değerlerinin bir model içerisinde oranlanması ile de bitki indeksi değerlerine ulaşılmaktadır. Bitki indeksi belirleme çalışmalarında yukarıda sözü edilen bu enerji biçimlerinin yoğun olarak kullanılma nedeni ise bitkilerin özellikle fizyolojik faaliyetleri sırasında bu enerji boyutlarına diğer enerji boyutlarına kıyasla daha karakteristik ve daha seçici cevaplar vermesindedir. Nitekim Landsat TM uydusunun 4. bandında kayıtlı spektral değerler, fotosentezde etken olan yaprakların hücre yapısı ve bileşimi yanı sıra yaprak katman yoğunluğu (biyokütle) ile de yakından ilişkilidir. Diğer taraftan bu spektral değerler aynı zamanda bitki sağlığı ve çeşitli bitki stres koşulları ile de yüksek korelasyonlar göstermektedir. Aynı uydunun 3. bandında kayıtlı spektral değerlerin ise çoğunlukla yaprak pigmentlerinin nitelik ve niceliklerine bağlı olarak absorbe edilen radyant enerji ile yakın ilişkiler verdiği bilinmektedir. Her iki banddaki söz konusu bu ilişkilerin çeşitli analitik yöntemlerle çözümlenmesi ise daha önce de ifade edildiği gibi bitki indeksi değerlerine ulaşılmasını sağlamaktadır. Genellikle yeşil bitkilerin absorbe ettikleri ve/veya yansıttıkları enerji biçimlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanan fotosentetik aktivitedeki artış

veya azalış ile de bitki indeksi değerleri arasında yüksek bir uyumun sağlanması beklenmektedir. Böylelikle, bitki indeksi ile ürünlerin nitelik ve nicelikleri arasındaki ilişkinin kurulması mümkün olmaktadır (Rudorff ve Batista, 1991; Sarı ve Ark., 2004). Diğer bir deyişle bitki indeksi için spektral bandların yansıma değerlerinin doğrusal transformasyonu işlemleri, basitleştirilmiş haliyle bitkilerin spektral davranışını ifade etmektedir. Bitkilerin yakın kızılötesi banddaki yansıma değerleri her koşulda kırmızı banddaki yansıma değerlerinden yüksek olacağı için, bitki indeksi değerleri de her zaman pozitif değerler almak durumundadır. Bu durumda, indeks değerleri pozitif olan tüm alanların ve bu alanları uydu verileri üzerinde temsil eden piksellerin bitki bulunan yerleri, indeksin negatif olduğu alanların ise bitkiden yoksun diğer alanlar olduğu sonucu ortaya çıkacaktır. Söz konusu bu indeks sistemine göre belirlenmiş olan bitki örtüsü ile kaplı tüm alanların indeks değerleri, her zaman 0 ile 1 arasında olacaktır. Bu kapsamda, bitki indeksi ile bitki yoğunluğu arasında bir ilişki kurulduğunda ise, bitki örtüsünün yoğun olduğu yerlerde indeks değerinin 1 sayısına yaklaştığı, seyrek yani bitki yoğunluğunun azaldığı alanlarda da 0 değerine yaklaşacağı gibi bir sonuç ortaya çıkmaktadır.

Bununla birlikte bitki indeksi, bitkinin farklı gelişim periyotları süresince değişim gösteren atmosferik etkilerle birlikte beslenme ortamı olan toprak özelliklerindeki değişimlerden de etkilenmeleri nedeniyle zaman zaman bitki durumunun belirlenmesinde amaçlanan hedeflere ulaşılmasını engellemektedir. Bu durum ise belirli bir hata payının ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Rudorff ve Batista, 1991).

Bu güne kadar yapılan araştırma sonuçları dikkate alındığında, ne yazık ki

bütün koşullar için tavsiye edilen basit bir bitki indeksi metodu geliştirilememiştir. Örneğin Rudorff (1985) ve Jackson (1983) çeşitli bitki indekslerini farklı bitkiler için analiz etmişler ve kırmızı bandla (RVI) yakın infrared dalga boyunun, kırmızı dalga boyuna oranlamasının, verimi ifade edebilen en iyi indeks olduğunu belirtmişlerdir. Jackson (1983) ise toprağın %50'den fazlasının bitki örtüsüyle kaplı olduğu durumlarda RVI'nın kullanımını tavsiye etmişlerdir. Bütün bunlara rağmen bitki indeksi metodu, hala verim tahmininin belirlenebilmesinde kullanılabilir olacak metotlardan en önemlisidir. Diğer taraftan toprak tipi ve iklim verilerinin de ürün tahmininde etkin parametreler olduğu unutulmamalıdır. Yine de uydu verilerinden kolayca elde edilebilen bitki indeksi ile verim arasındaki ilişkiyi bilmek, araştırmacıya verim hakkında önemli fikirler verebilmektedir. Uydu verileri kullanılarak belirlenecek olan bitki indeksi ile ilgili temel eşitlik ise aşağıdaki formülle tanımlanmaktadır (Peştemalci ve ark. 1991).

$$B.I = \frac{S(\text{Band 4}) - S(\text{Band 3})}{S(\text{Band 4}) + S(\text{Band 3})}$$

Bİ= Landsat TM bandları cinsinden bitki indeksi

S= Landsat TM kızılötesi (band 4)

ve kırmızı bölgedeki (band 3) yansıma

6. BİTKİ İNDEKSİ İLE VERİM ARASINDAKİ İLİŞKİ

Günümüze kadar bitki indeksi değerleri ile verim arasındaki ilişkilerin ortaya konulduğu bir çok araştırma yapılmıştır. Örneğin Pinter ve ark. (1981), deneme bitkisi olarak seçilen buğday ve arpa bitkilerine ait spektral yansıma özelliklerinin gelişim periyotları boyunca

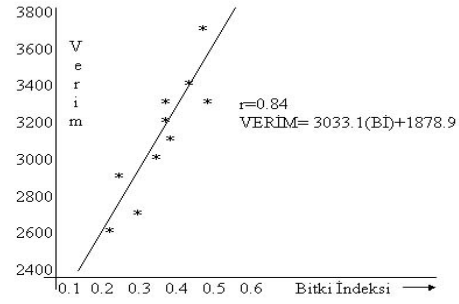
zamana bağlı değişimlerini belirlemek ve bu değişken değerlerin kullanılmasıyla hesaplanan bitki indeksi değerlerinden yararlanarak, verim tahminlerinin yapılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, dane olum periyoduna kadar geçen gelişim süresinde iki buğday ve iki arpa çeşidinin 600-700 nm ve 800-1100 nm dalga boyları arasındaki spektral yansıma değerlerinden hesap edilmiş bitki indeksi değerleri ile verim arasında yüksek korelasyonlar bulunduğu ifade edilmiştir. Diğer taraftan araştırmacılar, geliştirdikleri bu model ile, farklı su stresi koşullarında yetişen buğday ve arpa bitkilerindeki verim değişiminin belirlenmesinde de %88'lik bir doğruluğa ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Yapılan bir diğer araştırmada Bükler ve ark. (1992), otlak alanlarda farklı dozlardaki azotlu gübre uygulamalarının, bitkilerde meydana getirdiği spektral yansıtım farklılıklarını araştırmışlar ve kimi araştırmacıların da ifade ettiği şekliyle, bitki indeksi (örneğin NDVI) yerine, kırmızı eşik değişim (red-edge) metodunun kullanılması halinde verimin daha iyi açıklanabildiği sonucuna ulaşmışlardır. Araştırmacılar bunun nedenini, kırmızı eşik pozisyonunun, bitki biyokütlesi ve bitki klorofil içeriği gibi değişkenlerle çok daha iyi korelasyonlar sağlanması şeklinde açıklamışlardır.

Khawas ve Bhattacharjee (1996) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, spektral ölçümlerle elde edilen kızıl ötesi ve görünür kırmızı dalga boyu yansıma oranlarının kullanılmasıyla elde edilen bitki indeksi ile yaprak alan indeksi arasında ve aynı zamanda da verim değerleri arasında doğrusal ilişkilerin var olduğu ve bu ilişkilerdeki korelasyon değerlerinin de oldukça yüksek olduğu bulunmuştur.

Peştemalci ve ark. (1991) tarafından bitki indeksi ile verim arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

amacıyla yapılan bir çalışmada da bitki indeksi değerleri ile verim değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğu saptanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Bitki İndeksi İle Verim Arasındaki İlişki (Peştemalci ve ark., 1991).

Rudorf ve Batista (1991)'da Landsat TM'in 3. ve 4. bandlarındaki ortalama piksel yansıma değerlerini kullanarak deneme alanları için bitki indeksi (RVI) hesaplaması yapmışlar ve elde edilen sonuçlara göre de söz konusu bu indeksin, arazi yüzeyinin %50 ve daha fazlasının bitki örtüsü ile kaplı olduğu durumlarda ancak kullanılabileceği ifade etmişlerdir. Ayrıca bu çalışmada, Landsat uydu verilerinden elde edilen değerlerin, agronomik ve meteorolojik veriler ile birlikte kullanılmaları halinde, tarla düzeyinde ürün tahmini çalışmalarının yapılabilirliği de araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre de buğdaydaki verim değişkenliğinin ancak %40 ve %60'ının açıklanabildiği ifade edilmiştir.

Rudorff ve Batista (1990) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, üç buğday çeşidinin spektral davranışları analiz edilerek, bitki indeksi ile son ürün arasındaki ilişkileri araştırılmıştır. Söz konusu çalışmada ayrıca, bitki boyu, yeşil ürünün nitelik ve nicelikleri, hastalık ve zararlı görülebilirliği ve yabancı ot yoğunluğu gibi çeşitli agronomik özellikler de saptanmıştır. Sonuç olarak araştırmacılar, spektral verilerden elde edilen bitki indeksi değerleri ile son ürün

arasında oldukça yüksek korelasyonların bulunduğunu ($r= 0.82-0.93$) ifade etmişlerdir.

Buraya kadar yapılan açıklamalardan da anlaşılacağı üzere bitki indeksi değerleri ile verim arasında çeşitli düzeylerde doğrusal ilişkiler bulunmaktadır. Bununla birlikte konu ile ilgili yerel araştırmalara dayalı metod geliştirme çalışmalarına bir süre daha devam edilmesi gerektiği de bir gerçektir. Sonuç olarak bir genelleme yapılacak olur ise, uydu verileri üzerinden belirlenen bitki indeksleri ile verim tahminlerinin yapılabileceği ve spektral verilere dayalı olarak belirlenen bitki indeksi değerleri büyük olan bölgelerdeki verimin, bitki indeksi değerleri küçük olan bölgelerdeki verime göre her zaman daha yüksek olacağı ortaya çıkmaktadır.

7. VERİM TAHMİNİNDE KULLANILAN VERİLER

Çiftçiler ve agronomistler, çok eski zamanlardan beri bitkilerdeki vejetatif gelişme dereceleri ile verim arasında ilişkilerin farkındadırlar. Hemen her yerde ve her zaman geçerli olan “stand quality” yani bitki verim ve kalitesinin ticari oranları, vejetatif örtünün durumu, gövde yüksekliğinin ölçülmesi, birim alandaki bitki sayısı gibi nicelik ve niteliklere dayandırılmak suretiyle belirlenmektedir. Bununla birlikte son yıllara kadar, geniş alanlarda bitkisel üretimde etkili çevresel şartları zamanında ve kesin olarak arazide gözlemlenmek zor olmuştur. Bu nedenle gözlemlere dayalı potansiyel verim tahminleri de genellikle pratik olamamıştır. Ancak, Landsat gibi yer gözlem uydularının geliştirilmesi ile geniş alanlar üzerindeki bitki şartlarını gereken zamanda ve doğru bir şekilde görüntülemek ve analiz etmek mümkün olabilmektedir. Söz konusu bu yeni teknik,

verim tahmini çalışmaları için de önemli bir değişim yaşanmasına neden olmuştur.

Uydu verileri, çeşitli tarımsal amaçlarla kullanılabilir hale gelmiş olmasına rağmen, bu verilerin verimle ilişkilerini tahmin etmede hala çözümlenmesi gereken sorunlar bulunmaktadır. Bu sorunlar arasında belki de en önemlisi, uydu verileri üzerindeki yansıma karakteristiklerinin zamana bağlı değişimlerinin yeterince açıklanamamasıdır. Diğer bir deyişle sorun, bir vejetasyon döneminin farklı devrelerinde bitkisel üretim üzerinde etkili olan diğer çevresel faktörlerin, verimi ne yönde ve nasıl etkileyeceğinin kestirilmesi sorunudur. Dolayısıyla, uydu verileri yardımıyla yapılacak verim tahmini çalışmalarında, meteorolojik şartlar ve kültürel uygulamalar gibi agrometeorolojik faktörlerin, spektral karakteristikler üzerine olan etkileri de açıklanmak ve bu faktörlerin birbiri ile olan ilişkileri de belirlenmek durumundadır. Geniş alanlardaki verim tahminlerinin yapılması aşamasında ilişkilendirilmesi gereken veri setleri ise “meteorolojik faktörler” “uydu verileri” “kültürel faktörler” ve “verilerin birleştirilmesi” şeklinde kategorize edilebilecektir. Söz konusu bu veri setlerine ilişkin bazı açıklamalar ise aşağıda verilmiştir.

7.1. Meteorolojik Faktörler

Meteorolojik şartlar, tarımsal üretimde nihai verimin önemli bir belirleyicisidir. Verim tahminine ilişkin tarihsel süreç içerisinde meteorolojik bilgiler, uzun yıllık bölgesel ortalama değerler esasına göre kabaca kullanılmaktadır. Bununla beraber, Colwell ve ark. (1976)'na göre verimin önemli bir belirleyicisi olan bu şartların dışında diğer faktörler de vardır. Nitekim genellikle küçük alanlarda örneğin,

yaklaşık 77 km² (5x6 mil veya daha küçük test alanlarında) meteorolojik şartlar nispeten her yerde sabit bulunmakla birlikte bir yerdeki verim, araziden araziye de değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenliklerin nedenleri, arazideki yetiştirme işlemleri, gübreleme, bitki yoğunluğu, toprak tipi, topoğrafyadaki farklılıklar gibi faktörlerle ilişkilidir. Bu faktörlerin hiç birisi de meteorolojik veriler esasına göre geliştirilecek bir verim modeli içerisinde açıklanamayacaktır. Dolayısıyla sadece meteorolojik faktörlerin dikkate alındığı verim tahmini çalışmalarından da yeterli sonuçlar alınamayacaktır. Buna karşılık, bitki yetiştirme ortamındaki şartların değişken olduğu lokal yerlerde bile Landsat uydusu verilerinden elde edilecek bitki indeksleri ile o alanlara ait verim tahminleri çok daha rahat olarak yapılabilecektir. Bu nedenle, Landsat verilerinin lokal alanlardaki verim tahmini çalışmalarında kullanılması, sadece meteorolojik verilerden yararlanılarak yapılan verim tahmini çalışmalarından her zaman daha iyi sonuçlar verecektir.

7.2. Uydu Verilerinin Uygulanabilirliği

Verim tahmini modellemeleri için, bitkilerin farklı dönemlerindeki vejetatif şartlarını belirlemede uydu verilerinin potansiyel yararlılığı bu güne kadar yapılan birçok çalışmada test edilmiştir. Önceki bölümlerde de kısaca açıklandığı üzere, bu konuda yapılan araştırmaların hemen tamamında, bitki şartlarını belirleme ve bu yolla da verimi tahmin etmede uydu verilerinin sağladığı emsalsiz olanaklardan söz edilmiş ve böylelikle verim tahmini çalışmalarında uydu verilerinin kullanılabilirliği kesin bir şekilde kanıtlanmıştır (Maktav ve Sunar 1991).

7.3. Kültürel Faktörler

Benzer meteorolojik şartlarda bitkilerdeki farklı vejetatif gelişime ve buna bağlı olarak ta potansiyel verimdeki değişime etki eden faktörlerin bazıları, yapısal olarak kültürel faktörlerdir. Üreticiler tarafından değiştirilebilen faktörlerin tamamı da kültürel faktörler olarak nitelendirilmektedir. Söz konusu bu kültürel değişkenlerin çoğu hakkındaki veriler, yetiştirme dönemi boyunca potansiyel olarak bilinebilmeye elverişlidir ve bu nedenle de erken verim tahminlerinde kolayca kullanılabilir niteliktedir. Colwell ve ark. (1976) tarafından yapılan bir çalışmada, bu faktörlerin bazılarının nispi önemi ve ayrıca bu faktörlerin Landsat verileriyle açıklanabilenlerinin derecesi tartışılmıştır. Söz konusu bu çalışmalarda daha çok, kültürel veriler ile uydu verileri arasında ilişkilerin tespit edilmesi ve bu ilişkilerin nedenlerine ait analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Yapılan bu analizlerin bir sonucu olarak ta bir yerdeki verim değişimi nedeninin önemli bir kısmının, zaman zaman sadece tek bir kültürel faktörün çok düşük veya çok yüksek düzeydeki etkisine dayandığı ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, bir yerden diğerine, bireysel kültürel değişkenlerin korelasyonundaki yüksek farklılıklarından kaynaklanabilecek böyle bir durumun, muhtemelen çok yaygın bir sorun olmayacağı da ifade edilmiştir. Bitki gelişmesi olayının ve nihai verimin, yine de kültürel ve çevresel faktörlerin kompleks ilişkilerinin bir sonucu olarak ortaya çıktığı ve söz konusu bu faktörler arasındaki karmaşık ilişkilerin de henüz tam olarak açıklanamamış olduğu dikkate alındığında, sadece bireysel kültürel faktörlerin verim tahmini çalışmalarında kullanılmasında çeşitli güven sorunlarının

bulunduğu da açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yapılacak araştırmaların, bireysel kültürel ve çevresel faktörlerin bitki verimine olan etkilerinin değil, onların nihai verime olan ortak etkilerinin belirlenmesi amacıyla yönelik olarak planlanması ve yürütülmesi gerekmektedir.

7.4. Verilerin Birleştirilmesi

Yukarıda da ifade edildiği üzere, verim tahmini çalışmaları için bireysel kültürel değişkenlerin etkisi önem taşımakla birlikte, verim tahminlerinin güvenilirliğini artırmak için, bireysel kültürel değişkenlerin tek tek kullanılması yerine, bu değişkenlerin bilinen kombinasyonları kullanılarak verim tahmini çalışmalarının yapılmasında yarar görülmektedir. Nitekim, Colwell ve ark. (1976) tarafından yapılan bir çalışmada, hem kültürel değişkenlerin tümünün ve hem de uydu verilerinden elde edilen bitki indeksi değerlerinin birlikte kullanıldığı verim tahmini çalışmalarında %94 gibi oldukça yüksek bir değere ulaşılmıştır.

Sonuç olarak, belli durumlarda sadece uydu verilerinin kullanıldığı verim tahmini çalışmalarında önemli sonuçlar alınabilir iken, uydu verileri ile birlikte diğer kültürel ve meteorolojik verilerin de birlikte kullanılması durumunda, verim tahmini çalışmalarının performansının daha da arttığı söylenebilecektir.

8. AGROMETEOROLOJİK MODEL

Bir agrometeorolojik modelin temeli, çeşitli meteorolojik faktörlerin bir bitki çeşidinin gelişimi üzerine olan etki düzeylerinin belirlenmesine dayalı olarak oluşturulan sayısal değerlerin faktöryel çarpımlarının esas alındığı eşitliklere

dayandırılmaktadır. Böyle bir model, verim tahmini çalışmalarında tahmin güvenilirliğinin ve doğruluk derecesinin artırılmasını sağlamak amacıyla, verim tahmininde kullanılan diğer parametrelerle birlikte özellikle iklimsel etmenlerin verime olan etkisinin de değerlendirmeye alınmasını gerektirmektedir. Diğer bir deyişle agrometeorolojik model, tarımsal ürünlerin ekimden hasada kadarki geçen dönemlerdeki yağış, sıcaklık ve radyasyon gibi çeşitli agrometeorolojik etkenlerin fonksiyonlarının da dikkate alındığı ve maksimum ürünü hesaplamak için oluşturulan bir eşitliktir (Friedrich ve Batista, 1990).

Agrometeorolojik modellerle ilgili çeşitli araştırmalar yapılmış olmakla birlikte, genel bir fikir vermesi bakımından, bu makalede sadece bir örnek verilmek suretiyle konuya açıklık getirilmeye çalışılacaktır. Örnek olarak alınan çalışma Rudorff ve Batista (1991) tarafından yapılmış olup, bu çalışmada, farklı çeşitler için ekim tarihinin, çeşidin, radyasyonun, sıcaklık ve toprak nem durumunun dikkate alındığı bir agrometeorolojik model geliştirilmiştir. Söz konusu bu model, mekansal veri toplamadaki yetersizliklerden (lower spatial resolution, yalnızca bir meteoroloji istasyonu ve üç yağış ölçümü) dolayı çalışma alanındaki meteorolojik çeşitliliğin neden olduğu verimdeki değişikliği açıklamada yeterince uygun bulunmamıştır. Diğer yandan, çalışma alanı için uygulanan bitki indeksi metodunun ise sadece birkaç dönem için uygun sonuçlar verdiğini, buna karşılık tüm bitki gelişim periyodu boyunca ortaya çıkacak değişimi açıklamaya yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle bir sonraki aşamada geliştirilen agrometeorolojik modelle (AGRO) elde edilen değerlerinin, uydu verileri ile belirlenen bitki indeksi değerleriyle

birleştirilmesi suretiyle yeni bir model daha geliştirilmiştir. Söz konusu bu model;

$$\text{VERİM} = -676.0 + 253.5 \times \text{RVI} + 0.52 \times \text{AGRO} \quad (1)$$

şeklindedir. Yukarıda sözü edilen bu farklı uygulamaların verim tahminindeki başarı düzeyleri ise; agrometeorolojik modelde (AGRO) %43 ve bitki indeksinde (RVI) de %48 olarak bulunmuştur. Son olarak geliştirilen ve agrometeorolojik veri setleri ile bitki indeksi değerlerinin birlikte kullanıldığı yukarıdaki eşitliğin (1) kullanılması halinde de standart hatada önemli azalmaların sağlandığı ve bu model eşitliğin verim tahminindeki başarı oranının ise %65'e yükseldiği ifade edilmiştir (Rudorff ve Batista, 1991).

Rudorff ve ark. (1990) tarafından yapılan başka bir çalışmada da iklim şartları ve yarayışlı toprak suyunun bir fonksiyonu olarak agrometeorolojik bir model kullanılmış ve şeker kamışı bitkisinin verimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu modelde su, besin maddesi, zararlılar ve hastalıkların verim üzerine olan sınırlayıcı etkileri dikkate alınmadığında, tüm gelişme dönemi boyunca sıcaklık ve radyasyonun bir fonksiyonu olarak bir bitkinin maksimum verimini tahmin etmede başarılı olduğu sonucuna varılmış ve maksimum verimin, aşağıdaki formüle göre nispi evapotranspirasyon açığının bir fonksiyonu olarak azaldığı tespit edilmiştir.

$$(1 - Y_e / Y_m) = k_y (1 - E_{Ta} / E_{Tm}) \quad (2)$$

Y_e = Tahmini verim,

Y_m = Maksimum verim,

k_y = Verim tepki faktörü

E_{Ta} = Gerçek evapotranspirasyon,

E_{Tm} = Maksimum evapotranspirasyon

Verilen bu eşitliğe göre, bitki için yarayışlı su, ihtiyaç duyulan suya eşitse; gerçek evapotranspirasyon (E_{Ta}), maksimum evapotranspirasyon (E_{Tm})'a eşit olacaktır ve maksimum verim (Y_m) azalmayacaktır. Bununla beraber, bitkinin ihtiyaç duyduğu su, yarayışlı sudan büyükse, bu defa gerçek evapotranspirasyon (E_{Ta}) maksimum evapotranspirasyon (E_{Tm})'dan düşük olacak ve tahmini verim (Y_e) maksimum verim (Y_m)'den düşük olacaktır. Bu yeni durumda eşitlik yeniden yazıldığında;

$$(Y_e) = (Y_m) [1 - k_y (1 - E_{Ta} / E_{Tm})] \quad (3)$$

veya

$$(Y_e) = Y_m k_p \quad (4)$$

$$k_p = [1 - k_y (1 - E_{Ta} / E_{Tm})]$$

şekline dönüşecektir. Bu son eşitlikteki “ k_p ”, sınırlayıcı bir faktördür. Diğer değişkenler ise eşitlik 2'deki gibi tanımlanmıştır (Rudorff ve Batista, 1990). Buradaki gerçek evapotranspirasyon, yarayışlı toprak suyu indeksine ve kalan yarayışlı toprak suyunun ortalama Maksimum evapotranspirasyon değerlerine göre aylık olarak tahmin edilmektedir. Söz konusu bu eşitlikler, Aralık ve Nisan ayları arasında kullanılarak, şeker kamışı bitkisi için tahmini verim belirlenmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre araştırmacılar, bitkisel üretimde sadece ortalama verim açıklanacaksa, yukarıda önerilen agrometeorolojik modelin üstünlüğünün açıkça ortaya çıktığını ifade etmektedirler. Aynı zamanda bu çalışmada uygulanan modele göre belirlenen tahminlerin standart hataları da düşük bulunmuştur (Rudorff ve Batista, 1990).

Cizelge 1. Şeker kamışı bitkisinin verim tahminleri (Rudorff ve Batista,1990)

Yıl Ay	1983/84			1984/85			1985/86			1986/87			
	Y _m	k _p	Y _e	Y _m	k _p	Y _e	Y _m	k _p	Y _e	Y _m	k _p	Y _e	
I.Hasat	Ar.	122	0.86	105	116	0.80	92	130	0.82	106	128	0.72	92
	Oc.	115	0.84	96	109	0.75	82	123	0.79	97	120	0.72	86
	Şub.	106	0.83	88	102	0.75	76	113	0.74	84	112	0.73	82
	Mrt	97	0.84	82	93	0.73	68	103	0.76	78	104	0.74	78
	Nis.	91	0.87	79	86	0.76	65	95	0.78	74	96	0.76	73

Y_m = Maksimum Gövde Verimi k_p = Sınırlayıcı Faktör Y_e = Tahmin Edilen Verim

9. SONUÇ

Tarımsal ürünlere ilişkin alan ve verim tahminlerinde her geçen gün, eski klasik yöntemlerin yerini alabilecek yeni teknik ve teknolojilerin geliştirilmekte olduğu bir gerçektir. Söz konusu bu yenilikler arasında uzaktan algılama bilim ve teknolojisinin önemli bir ayrıcalığının bulunduğu görülmektedir. Nitekim bu makalenin içeriğinde de detaylandırıldığı üzere, bu yeni yaklaşımın, eski klasik yöntemlerin çoğu subjektif olan ve özellikle herhangi bir gözlem veya ölçüme dayanmayan karar verme mekanizmalarının giderek ortadan kaldırılmasında ve böylelikle gerçekçi verilere dayalı doğru verim tahmini yapma olanağını sağlayacağı anlaşılmaktadır. Gerçekten de uydu verilerinin, çok geniş alanlardaki bitki çeşitleri ve bitkilerin çeşitli koşulları hakkında hızlı ve doğruluk oranı son derece yüksek bilgilerin temin edilmesinde ve verim tahminlerinde benzersiz avantajlar sağladığı, pek çok araştırma sonucu ile desteklenmiş durumdadır. Diğer taraftan verim tahminlerinde, bitkisel üretim üzerine etkili olan çeşitli meteorolojik faktörlerin yanı sıra üreticiler tarafından

uygulanmakta olan kültürel faktörlerin ve yetiştirme ortamları olan toprak ve arazi karakteristiklerinin de dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

Buraya kadar yapılan değerlendirmeler göre; henüz metot geliştirme aşamasında olan ve çözümlenmesi gereken sorunları bulunmakla birlikte, verim tahminlerinde uydu verileri ile çeşitli agrometeorolojik veri kombinasyonlarını birlikte kullanmanın eski klasik yöntemlere kıyasla önemli üstünlüklerinin bulunduğu ve yapılacak tahminlerdeki hata oranlarının da bu yeni yaklaşımla olabildiğince azaltılabileceği öngörülmektedir.

Sonuç olarak, ülkemizde de alan belirleme ve verim tahmini çalışmalarını yeni bilimsel ve teknik temellere dayandırabilmek ve hızlı, ucuz ve doğru istatistiki bilgilere ulaşabilmek ve nihayet bu konuda çağdaş planlama tekniklerini gelişmiş ülkeler düzeyinde uygulayabilmek için, agrometeorolojik elemanların ve uzaktan algılama tekniklerinin birlikte kullanıldığı ve farklı ekolojik bölgelere hitap edebilecek yeni model ve metotların geliştirilmesinin bir zorunluluk olduğu ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Ahlics, J.S. Ve M.E., Bauer, 1983. Relation Of Agronomic And Multi Spectral Reflectance Characteristics Of Spring Wheat Canopies. *Agronomy Journal* 75: 987-993.
- Akiyama, T., Y., Inoue, M., Shibayama, Y., Awaya, N., Tanaka, And T.R. Carter, 1996. Monitoring And Predicting Crop Growth And Analsing Agricultural Ecosystems By Remote Sensing. *Agricultural And Food Science In Finland*. 5(3): 367-376.
- Anonymous, 2003. Electronic And Photographic Image Technology In Citrus Production. [Http://Www.Ifes.Ufl.Edu/ ~Research / Accountability/ Projects/03499.Htm](http://www.ifas.ufl.edu/~Research/Accountability/Projects/03499.htm)
- Büker, C., J.G.P.W., Clevers,. And W., Kühbauch, 1992. Measuring The Intensity Of Nitrogen Fertilization Of Grassland By Means Of Remote Sensing. European "International Space Year Conference" Remote Sensing For Environmental Monitoring And Resource Management 30 March-4 April, Munich, Germany.
- Colwell J.E., D.P., Rice Ve F. R. Nalepka., 1976 Wheat Yield Forecasts Using Landsat Data. Environmental Research Institute Of Michigan Ann Arbor, Michigan.
- Doorenbos, J. And A. H. Kassam. 1979. *Yield Response To Water*. Irrigation And Drainage Paper 33. Rome: Fao. 193 P.
- Friedrich B. Ve R.G.T. Batista, 1990. Yield Estimation Of Sugarcane Based On Agrometeorological-Spectral Models. *Remote Sens. Environ.* 33:183-192.
- Jackson, R. D., 1983. Spectral Indices In N-Space, *Remote Sensing Of Environment*, Vol. 13, Pp. 409-421.
- Khawas, B. And I., Bhattacharjee, 1996. Growth And Yield Analysis Of Summer Mung Bean (*Vigna Radiata* L. Wilczek) By Canopy Reflectance. *Annals Of Agricultural Research*. 17(4): 379-381.
- Maktav D., F., Sunar, 1991. Uzaktan Algılama Kantitatif Yaklaşım. Çeviri Kitabı. Sayfa 136.
- Ömerci C., O., Müfrüoğlu, A.F, Sunar, H.G., Coşkun, 1993. Landsat Thematic Mapper Verileri Kullanılarak Hububat Ekim Alanlarının Sınıflandırılması, İ.T.Ü. Cilt 51 Yıl 51, Sayı 4, 1993 İstanbul.
- Peştemalci V., U., Dinç, İ., Yeğingil, M., Kandırmaz, M.A., Çullu, N., Öztürk, E., Aksoy, 1991. Adana İlinde 1991 Yılı Buğday Ve Arpa Ekili Alan Tahmini
- Pinter, P.J., R.D., Jackson, S.B., Idso And R.J., Reginato, 1981. Multidate Spectral Reflectance As Predictors Of Yield In Water Stressed Wheat And Barley. *International Journal Of Remote Sensing*. 2(1):43-48.
- Rees, W.G., 1990. Topic In Remote Sensing Physical Principles Of Remote Sensing. Cambridge University Press. Cambridge-Uk
- Richardson A.J, C.L. Weighand, G.F Arkin, P.R., Nixon And A.H. Gerberman, 1982, *Agric Meterol.* 26 (): 11-23
- Rudorff, B. F. T. 1985. Dados Landsat Na Estimativa Da Produtividade Agrícola Da Cana-De-Açúcar. Tese De Mestrado, Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais, São José Dos Campos, Sp, (Inpe-3744-Tdl/202). 114p.
- Rudorff, B.F.T. Ve G.T. Batista, 1990. Spectral Response Of Wheat And Its Relationship To Agronomic Variables In The Tropical Region. *Remote Sensing Of Environment* 31:53-63.
- Rudorff B.F.T. Ve G.T. Batista, 1991. Wheat Yield Estimation At The Farm Level Using Tm Landsat And Agrometeorological Data. *Int. J. Remote Sensing*, 1991, Vol.12, No:12, 2477-2484.
- Sarı, M., N.K. Sönmez, M.Karaca, 2004. Relationship Between Chlorophyll Content And Canopy Reflectance In Washington Navel Orange Trees (*Citrus Sinensis* L. Osbeck), *Pakistan Journal Of Botany* (In Press).
- Sönmez, N.K. Ve M. Sarı, 1999. Sayısal Uydu Verileri İle Batı Akdeniz Bölgesinde Buğday Bitkisinin Spektral Özelliklerinin Ve Alansal Dağılımının Belirlenmesi, *Turkish Journal Of Agriculture And Forestry* 4 (23): 929-934.
- Yıldırım H., E., Alparslan, C., Aydöner, S., Elitaş, 1997. Bitki Örtüsü Ve Yoğunluğunun Uzaktan Algılama İle Bulunması. Türkiye Ulusal Fotogrametri Ve Uzaktan Algılama Birliği., 3. Uzaktan Algılama Ve Türkiye'deki Uygulamaları Semineri. 16-18 Mayıs Uludağ-1997-Bursa