

## Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojilerinin Sulama Alanında Kullanımı

Nefise Yasemin Emekli<sup>1</sup>

Mehmet Topakçı<sup>2</sup>

1- Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 07070 Antalya

2- Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, 07070 Antalya

**Özet:** Bitkisel üretimde girdilerin minimize edilerek optimum verimin sağlanması en önemli konulardan biridir. Hassas uygulamalı tarım, tarlada bitki ve toprak özelliklerine göre zamansal ve konumsal farklılıkları göz önüne alarak tohum, gübre, ilaç vb. girdilerin daha etkin ve çevreye duyarlı bir şekilde kullanımını sağlar. Bu yeni yöntem tarımda yeni teknolojilerin kullanımını olanaklı kılan bir yaklaşımdır. Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Küresel Konum Belirleme sistemleri hassas uygulamalı tarımın, ekonomik ve çevresel faydalarını artırmada çiftçiler için ihtiyaç duyulan teknolojik çözümleri sağlamaktadır. Bu çalışmada, Hassas Tarım Teknolojileri literatür bilgileri altında incelenmiş ve tarımsal sulamada kullanımları belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hassas Tarım, Değişken Düzeyli Uygulama, Sulama

## Precision Agriculture Technologies Using in Irrigation

**Abstract:** One of the most important subjects in crop production is to optimise yield while minimizing inputs. Precision Agriculture could obtain efficient use of inputs such as seed, fertilizer, pesticide etc. as respect to environment by considering the spatial and temporal changes in field according to crop and soil properties. This new method is an approach which can provide with the new technologies using in agriculture. Remote sensing, Geographic Information Systems, and Global Positioning Systems may provide the technologic solutions for farmers requirements to maximize the economic and environmental benefits of precision agriculture. In this study, Precision Agriculture Technologies were investigated under literature informations and using areas of these technologies was determined in irrigation.

**Key Words:** Precision Agriculture, Variable Rate Application, Irrigation

### 1. Giriş

Günümüz dünya nüfusu yaklaşık 6 milyar civarındadır. Gelecek yüzyıllar içerisinde ise bu sayının yaklaşık 9 milyar olacağı tahmin edilmektedir (Ekdahl, 2000). Dünya nüfusunun hızlı artışı karşısında arazi ve diğer üretim faktörlerinin aynı oranda artırılmaması, toplumların gıda maddeleri ihtiyacını karşılamak amacıyla tarımda yoğun olarak gübre, ilaç, sertifikalı tohum ve suni tohumlama uygulamalarını beraberinde getirmiştir. Bilim adamlarını nüfusun hızlı artışı, artacak nüfusun beslenmesi ve açlıkla mücadele etmek amacıyla tarımda yeni arayışlara yöneltmiştir. Bu kapsamda tarımda uygulanan yeni teknolojilerden biri "Information Management-Site Specific Management- Precision Farming (PF)" şekillerindeki deyimlerle İngilizce literatürde ifade edilen "Hassas Uygulamalı Tarım" olmaktadır (Peker ve ark., 2005).

Geleneksel tarımsal üretimde toprak yönetimi, üretim ortamının yeknesak bir şekilde ele alınıp işlenmesiyle yapılmaktadır. Üreticiler her ne kadar üretim alanlarının değişik bölümlerinden farklı miktarlarda ürün aldıklarını veya farklı toprak bünyesine sahip

olduklarını bilseler de, bu bilgiyi üretime yönelik değerlendirememektedirler. Bu nedenle geleneksel olarak, büyüklüğü ne olursa olsun bir bütün olarak ele alınan tarlada yetiştirilen bitkinin ihtiyaç duyduğu gübre ve ilaç gibi girdileri de hep aynı miktarda uygulamaktadırlar. Bu yaklaşım arazideki bazı yerlerin fazla, bazı yerlerin ise daha az girdi almasına neden olmaktadır (Vatandaş ve ark., 2005). Buna bağlı olarak da, bitkilerin tarlada homojen bir şekilde gelişimi değişebilmektedir. Bu nedenle bir tarlanın alt bölümlerindeki heterojenliği incelemek hassas tarımın önemli bir konusunu oluşturmaktadır. Bu heterojenlik toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre değişebilen parametrelerle tanımlanabilmektedir (McBratney and Pringle, 1999; Ehlert, 2000).

Genel anlamda hassas tarım (PF); ileri teknolojilerin kullanılması suretiyle, tarlanın bütününe yapılan alışagelmış sabit düzeyli uygulama yöntemleri yerine, çok daha küçük kısımlarına ait toprak ve bitki özelliklerinin (toprak nemi, topraktaki bitki besin elementlerinin düzeyi, toprak bünyesi, ürün koşulları, verim, vb.) belirlenmesi sayesinde

değişken düzeyli uygulamayı esas almaktadır (her bir kısma kendi ihtiyacı kadar gübre veya ilaç uygulanması, farklı derinlikte toprak işleme, farklı normlarda ekim, farklı düzeylerde sulama ve drenaj). Bütün bunların sonucu olarak Hassas Tarım daha ekonomik ve çevreye duyarlı üretimi hedefleyen bir işletmecilik ve tarımsal üretim yöntemidir (Tekin ve Sındır, 2006). Bu sistem modern teknolojilerin sağladığı bilgiler ve yeni aletlere dayanır. Bu yeni yöntemin bileşenleri; küresel konum belirleme sistemi (Global Positioning System, GPS), coğrafi bilgi sistemleri (Geographic Information Systems, GIS), ürün izleme aletleri, bitki, toprak ve yabancı ot sensörleri, uzaktan algılama ve değişken düzeyli uygulama (Variable Rate Application, VRA) şeklinde sıralanabilir (Seelan et al., 2003).

Hassas tarım uygulamalarının temelini arazide mevcut durumun doğru bir şekilde belirlenip ihtiyaçlar doğrultusunda uygulamaların yapılması oluşturmaktadır. Bunu hassas tarımın sloganı haline gelen “doğru uygulamaların doğru zamanda doğru yere yapılması gerekmektedir” ifadesi açıklamaktadır (Güler ve Kara, 2005).

Bu çalışmada, hassas tarım teknolojisinin tarımsal sulamada kullanım alanının incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Hassas Tarımın Aşamaları

Hassas tarımın temel unsurlarını veri toplama, veri değerlendirme (işleme) ve girdilerin değişken düzeyli uygulanması olmak üzere 3 ana grupta toplamak mümkündür (Fountas et al., 2005). Bunlara ek olarak, hassas uygulamalı tarımın agronomik, ekonomik ve çevresel etkilerinin ele alındığı değerlendirme aşaması da bulunmaktadır. Bu aşamada, yapılan uygulamaların başarısı incelenmekte ve daha sonra yapılacak uygulamaların planlanması gerçekleştirilmektedir (Kirişçi ve ark., 1999).

## 3. Veri Toplama

Veri toplama işleminin esasını ve başlangıcını verim değerlerinin elde edilmesi oluşturmaktadır. Diğer taraftan, üretim alanının incelenen büyüklükteki kısmının toprak özellikleri toprak testleri ile belirlenmek zorundadır. Ürün verim değerleri ve toprak özelliklerinin üretim alanındaki gerçek yerleriyle ilişkilendirilmesi gerekir. Bu temel

bilgilerin yanı sıra, aşağıdaki bilgilere de gereksinim duyulabilmektedir:

- \* Bir önceki üretim sezonuna ait verim değerleri,
- \* Yağış miktarı değerleri,
- \* Topoğrafik veriler,
- \* Arazinin yabancı ot yoğunluğu,
- \* Bir önceki üretim sezonuna ait gübre ve ilaç uygulama normları,
- \* Uzaktan algılanmış bilgiler.

Söz konusu bu verilerin elde edilmesi için yararlanılacak yöntemler çok farklı olabilmektedir (Kirişçi ve ark., 1999).

### 3.1. Küresel Konum Belirleme Sistemleri

Hassas tarım kavramının gelişimini sağlayan temel teknoloji, 1970’li yılların sonuna doğru ABD Savunma Bakanlığı tarafından dünyanın yörüngesine yerleştirilen uydulardan alınan verilere dayalı GPS’in ortaya çıkartılmasıdır. Bu sistem dünyanın herhangi bir yerine ilişkin anlık olarak birkaç cm’lik bir hassasiyet ile o yere ilişkin enlem, boylam ve yükselti değerlerini elde etme olanağı sağlamaktadır (Stafford, 2000). 1980’li yılların sonunda ise GPS’in yanı sıra NAVSTAR-GPS, GLONASS gibi yeni küresel konum belirleme sistemleri ortaya çıkmıştır. Söz konusu sistemlerle elde edilen koordinatlar başta askeri amaçlı kullanılırken daha sonra sivil amaçlar içinde kullanılabilir hale gelmiştir (Auernhammer, 2001). Son yıllarda ise uydu navigasyon teknolojileri tarımsal uygulamalarda kullanılmaya başlamıştır (Lechner and Baumann, 2000).

Hassas tarımın ilk uygulamalarında arazide hareket halindeyken konum belirleme amacıyla GPS kullanımı uygun değildi. Tipik bir GPS alıcısı ile elde edilen bilgilerin doğruluk düzeyi oldukça düşüktü. Uyduların tam olarak yerleştirilmemiş olması nedeniyle sinyal alımında ağaçlar ve binalardan kaynaklanan sıkıntılar ve çok değişik yansımalar nedeniyle önemli hatalar meydana gelmekteydi (Stafford and Ambler, 1994). Ayrıca GPS alıcıları oldukça büyük ve pahalıydı. 2000’li yıllarda GPS’in kullanım olanakları ve öneminin anlaşılması sonucunda ticari kuruluşların devreye girmesi sağlanmış ve bu olay fiyatlarda önemli bir şekilde düşüşü gerçekleştirmiştir (Stafford, 2000). GPS ile gerçekleştirilen yer belirleme işlemi;

- \* Uydu saati hatası,
- \* Uydu yörünge hatası,
- \* Atmosfer nedeniyle radyo sinyalinde meydana gelen gecikme ve bu sinyallerin birden fazla yol izleyerek alıcıya ulaşması,
- \* Alıcıdan kaynaklanan hata, güvenlik nedeniyle sisteme eklenen hata ve uyduların uzaydaki yerleşimi, gibi faktörlerin yarattığı hatalar sonucunda elde edilen verilerin doğruluğu yaklaşık olarak 100 m dolaylarında idi. Bu doğruluk değeri hassas uygulamalı tarımsal üretimde kullanım için uygun değildi (Kirişçi ve ark., 1999). GPS'in hassasiyetini artırmak için diferansiyel veri düzeltmeli sistem geliştirilmiş ve bu sistem Hata Düzeltmeli Küresel Konum Belirleme Sistemi (Differential Global Positioning System, DGPS) olarak adlandırılmıştır (Kirişçi ve ark., 1999, Lechner and Baumann, 2000).

GPS benzeri diğer konum belirleme sistemleri de mevcuttur. Bunlar Rusya küresel konum belirleme sistemi (GLONASS) ile şimdilerde Avrupa Uzay Ajansı tarafından geliştirilen GPS'in tamamlayıcısı olarak düşünülen ve 2008 yılında faaliyete geçen Avrupa Küresel Konum Belirleme Sistemi (Galileo Global Navigation Satellite System, GNSS)'dir (Keefe et al., 2006; Güler ve Kara, 2005).

Keefe et al. (2006), GPS, GNSS ve GPS ile GNSS'nin kombine edildiği 3 farklı küresel konum belirleme sisteminin konumlandırma hassasiyeti, verilerin elde edilebilirlik ve güvenilirlik performanslarını simülasyon yöntemi ile karşılaştırdıkları çalışmalarında; kombine edilmiş sistemde verilerin elde edilebilirlik ve hassasiyetinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

2009 yılında GPS' in hassasiyetini artırmak için, tüm Türkiye'de CORS-TR ağı oluşturulmuştur. Bu ağdan düzeltme sinyalleri alınarak, düzeltilmiş konum bilgileri elde edilmektedir.

### 3.2. Verim Görüntüleme ve Haritalama Sistemleri

Yetiştiricilerin karşılaştıkları en büyük sorun, çeşitli faktörlere bağlı olarak ürün veriminin veya ekonomik getirinin azalmasıdır. Bu nedenle rekabetçi bir pazarda bunun üstesinden gelebilmek için, yetiştirdikleri ürün hakkında her şeyi bilmek zorundadırlar.

Gelişmiş ülkelerde çiftçiler arazilerini bilgi teknolojilerinden yararlanarak izlemekte ve değişen koşullara göre karar vermede oldukça güvenilir bilgilerden yararlanabilmektedirler. Bu teknolojiler çiftçilerin arazilerini daha küçük alt parseller halinde izlemelerine olanak sağladığından, toprak özelliklerindeki değişikliğin yanında ürün verimi hakkında da bilgi sağlayabilmektedir. Çeşitli ürünler için elektronik verim izleme ve kayıt sistemleri geliştirilmiştir. Burada ürün çeşitlerine yönelik olarak verim sensörleri de çeşitlilik göstermektedir. Günümüzde kullanılan bazı verim sensörleri ve kullanıldıkları ürünler aşağıda sıralanmıştır:

- \* Ağırlık esaslı sensör-(buğday, mısır gibi taneli ürünler),
- \* Hacimsel esaslı sensör (buğday, mısır gibi taneli ürünler),
- \* Konveyöre bağlı yük sensörü (patates, havuç, şekerpancarı gibi ürünlerde),
- \* Tarım makinası yük sensörü (pamuk, üzüm, domates gibi ürünlerde),
- \* Moment dönüştürücüler (domateste),

En yaygın kullanılan verim görüntüleme ve haritalama sistemi biçerdöverlerle tahıl hasadında kullanılan sistemlerdir (Vatandaş ve ark., 2005).

### 3.3. Toprak Özellikleri

Geleneksel tarım sistemlerinde, çiftçiler tarladan tesadüfi olarak toprak örneklerini alırlar ve daha sonra sonuçların ortalamalarından yararlanırlar. Tüm tarla bu ortalama değerler esas alınarak işleme tabi tutulmakta ve sadece tek bir gübre normu tarlaya uygulanmaktadır. Hassas uygulamalı tarım tekniğinde ise tarlanın değişik yerlerinden düzenli bir biçimde örnekler alınmakta ve analiz sonuçlarına göre gübre normu değiştirilebilmekte ve gübre sadece tarlada ihtiyaç duyulan yere ve gerekli miktarda uygulanmaktadır. Değişken gübreleme ve kireç uygulama normunu belirlemek için toprak örnekleme ve analizleri yürütülmektedir (Kirişçi ve ark., 1999). Hassas tarım verim açısından toprak verimliliği (organik madde içeriği, N, P, K vb.), toprağın fiziksel (toprağın tekstürü, toprağın yapısı, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi vb.) ve kimyasal özellikleri (toprağın pH düzeyi) ile yakından ilişkilidir (McBratney and Pringle, 1999).

### 3.4. Uzaktan Algılama

Bir çok teknik ve bilimsel kaynak incelendiğinde uzaktan algılama için, genel anlamda “cisimlere fiziksel bir temasta bulunmaksızın onların fiziksel özellikleri hakkında bilgi sahibi olabilmek” şeklindeki ifadelerin en açıklayıcı tanımlar olduğu söylenebilmektedir (Maktav, 2006). Uzaktan algılama, hassas uygulamalı tarım için önemli bir işletmecilik aracı olma özelliğine sahiptir. Hassas tarımda uzaktan algılama, bitki ile fiziksel temasın zor olduğu veya bitkiye zarar verme durumunun söz konusu olduğu durumlarda bitkilerin uzaktan algılanabilmesidir. Buna bağlı olarak UA geniş alanların görüntüsünün hızlı ve tekrarlanabilir bir şekilde daha az işgücüyle alınabilmesi ve tüm yetiştirme periyodu boyunca kullanılabilmesi nedeniyle geleneksel tarla gözlemlenmesine bir alternatif olarak kullanılabilir (Kirişçi ve ark., 1999).

### 4. Veri Değerlendirme

Arazinin coğrafi durumuna ilişkin olarak bilgi toplama işlemleri için GIS sistemlerinden yararlanılmaktadır. GIS tarafından sağlanan sayısal bilgiler, analiz edilebilmekte, farklı ortamlarda değerlendirilebilmekte veya saklanabilmektedir. Verilerin girilmesi, saklanması veya analiz edilmesi, bu amaçla geliştirilmiş paket programlarla yapılmaktadır. Bir GIS veri tabanı sistemi; konum bilgisi, tarla sınırları, verim, bitki besin elementleri düzeyleri ve pH gibi tarla ve bitkiye ait özellikleri içerebilmektedir. Verim görüntülenmesi ve verim haritasının elde edilmesi, hassas tarımın en önemli veri toplama işlemlerindedir. Verim görüntüleme sistemleriyle elde edilen konum verisi ile birlikte verim değerleri uygun bir GIS yazılımı kullanılarak verim haritasına dönüştürülmektedir. Bu harita üzerinde GIS yardımıyla değişik harita işleme ve analiz fonksiyonları gerçekleştirilebilmektedir. En yaygın kullanılan GIS yazılımları Arc Info ve Arc View'dir (Vatandaş ve ark. 2005).

### 5. Değişken Düzeyli Uygulama (Variable Rate Application, VRA)

Yerine göre bilgi teknolojileri (Site-Specific Information Technologies) değişken düzeyli uygulamalardaki girdilerin (gübreleme, ilaçlama, sulama vb) etkinliğini artırmak için

bir tarla içindeki bölgesel farklılık hakkında bilgi edinmemizi sağlar (Torbett et al., 2007). Değişken düzeyli uygulamada bitkisel üretimde kullanılan girdilerin azaltılması ile hem nisbi bir ekonomik tasarruf sağlanmakta hem de bu girdilerin çevreye verdiği zararlı etkiler azaltılmaktadır (Reyns et al., 2002). Arazide değişkenlik belirlenmesi harita esaslı (map-based) ve duyarga esaslı (sensor-based) olmak üzere 2 yöntemle belirlenebilmektedir. Harita esaslı yaklaşımda GPS, uzaktan algılama, verim görüntüleme teknolojileri ve toprak örneklerinden yararlanarak değişken düzeyli uygulamayı gerçekleştirmek daha kolaydır. Bu yaklaşım;

- \* Tarlada hücrelerden alınan örnekler,
- \* Toprak örneklerinin laboratuvar analizleri,
- \* Bu analizlere göre verim haritalarının oluşturulması,
- \* Değişken düzeyli uygulamada kullanılan alıcıyı kontrol etmek için verim haritasının kullanılması

aşamalarından oluşmaktadır (Zhang et al., 2002).

Duyarga esaslı VRA sistemi, uygulama haritası uygulama aracına yerleştirilen duyargalardan elde edilen verileri kullanmaktadır. Duyargalar, toprak veya ürünle ilgili özellikleri algılamakta ve bunu bilgisayara göndermektedir. Bilgisayar uygulanacak girdi miktarını belirlemekte ve bu miktar, uygulama elemanını kontrol eden kontrol elemanına gönderilmektedir. Bu VRA tipi, konumlandırma sistemine gereksinim duymaktadır (Kirişçi ve ark., 1999).

Timmermann et al., (2003), değişken düzeyli herbisit uygulamanın ekonomik ve ekolojik yararlarını değerlendirmek için CBS teknolojisi ile 5 tarlada mısır, arpa, buğday ve şekerpancarı bitkilerinde 4 yıllık bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada tarlanın tamamının ilaçlanması, bant şeklinde+çapalayarak uygulama ve değişken düzeyli uygulama olmak üzere üç farklı konu denenmiştir. Uygulanan örnekleme yöntemi ile verim haritaları oluşturulmuş ve haritalara göre değişken düzeyli herbisit uygulaması yapılmıştır. Araştırmacılar, yaptıkları çalışmanın sonucunda herbisit uygulamasındaki azalmanın yıla ve bitkiye göre değiştiğini ve bu azalmanın mısırdaki 42 Euro/ha, buğdayda 32 Euro/ha, arpada 27 Euro/ha, şeker pancarında 20 Euro/ha

olduğunu; ortalama 33 Euro/ha oranında gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Ayrıca bu kazanımın değişken düzeyli uygulama teknolojisinin doğruluğunu ispatladığını belirtmişlerdir.

Machado et al., (2000), sulanan mısırın dane veriminin tarlada bölgesel ve zamansal değişikliği üzerinde sulamanın (Evapotranspirasyon' un %80 ve %50 düzeylerine göre), hibrit tohum seçimi, deniz seviyesinden yükseklik, toprak tekstürü, toprağın nitrat azot oranı, bitki yoğunluğu, toprak verimliliği, pestisit uygulamaları gibi biyotik ve abiyotik faktörlerin etkilerini inceledikleri çalışmalarında bu etkilerin hassas tarımın uygulanmasında nasıl değerlendirilmesi gerektiğini araştırmışlardır. Bu amaç için tarla hücrelere bölünmüş ve her bir bölüm DGPS alıcısıyla donatılmıştır. Çalışmada istatistiksel değerlendirme için, varyans analizi, en küçük kareler yöntemi, faktör analizi, çoklu regresyon analizi, Pearson korelasyon analizleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, dane veriminin;

\* Biyotik ve abiyotik faktörler arasındaki karşılıklı ilişkidenden etkilendiğini,

\* Kil ve silt içeriği fazla olan topraklarda yüksek nem düzeylerine bağlı olarak verimin arttığını,

\* Nitrat azotunun yüksek nem düzeylerinde verimi arttırdığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar dane verimi üzerindeki biyotik ve abiyotik faktörlerin etkileri bir bütün (sistem) olarak değerlendirildiği zaman hassas tarım uygulamalarının daha etkin olabileceğini bildirmişlerdir.

## 6. Sulamada Hassas Tarım Uygulamaları

Ülkemizde bir yandan yeni alanlar sulamaya açılırken diğer yandan çok büyük yatırımlarla sulama şebekeleri kurulmuş araziler, yanlış tarım ve sulama uygulamaları nedeniyle hızla bozulmakta ve kirlenmektedir. Sulamaya açılan alanların büyük bir bölümü tuzluluk ve sodyumluluk problemi ile karşı karşıyadır. Aşırı ve yanlış gübreleme toprak-bitki-su dengesi, nitrit ve nitrat kalıntılarıyla toprak yapısını bozmakta, yer altı sularını kirletmektedir. Bilinçsiz sulama uygulamaları da toprağı tuzlulaştırmakta ve taban suyu kalitesini düşürmektedir. Taban suyu ve tuzluluk ile ilgili problemler, tarımdaki çevre

sorunlarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (Çakmak ve Kendirli, 2002). Verimli ve sürdürülebilir bir tarımsal üretim için sulama en önemli girdilerin başında gelmektedir (Gündoğdu ve ark., 2001).

Son yıllarda tarımda yanlış uygulamalar sonucunda meydana gelen çevre sorunlarını önlemek ve daha etkin bir bitkisel üretim gerçekleştirebilmek için gelişen teknolojiden de yararlanılmaktadır. Literatür bilgileri incelendiğinde sulamanın farklı uygulama alanlarında da bu teknolojiden yararlanılmaktadır. Nitekim Uçar ve Kara (2001), Isparta-Atabey sulama şebekesinin fiziksel yeterliliğinin belirlenmesinde Uzaktan Algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Bu amaç için deneme alanına ait LANDSAT uydu verisi kullanılmış ve bu veri ile arazi kullanım türü ve vejetasyon indeksi belirlenmiştir. Alana ait kanalların ölçülmesi ve karşılaştırılmasında ise CBS'den yararlanılmışlardır. Araştırmacılar Atabey sulama şebekesinin 1974 yılında işletmeye açılmasına rağmen sulama oranının %26 düzeyinde olmasını şebekede planlama, uygulama ve işletme aşamalarındaki hataların sebebiyet verdiğini ve sulama şebekelerinin fiziksel yeterliliğinin belirlenmesinde UA ve CBS'nin kullanılmasıyla daha hızlı, güvenilir ve objektif bilgilerin elde edilebileceğini ayrıca karar vericilerin daha sağlıklı kararlar alabileceğini bildirmişlerdir.

Uydu verileriyle evapotranspirasyonun (ET) belirlenmesinde; uydudan alınan verilerden, bitkilerin albedo haritası, yaprak alan indeksi haritası ve bitki yüksekliği haritası çıkarılmaktadır. Burada uydulardan alınan farklı bantlardaki yansımalar spektrometre ile yapılan yer ölçümleri ile ilişkilendirilmekte ve geliştirilen amprik denklemlerle ET belirlenmektedir (Uçar ve Başayığıt, 2001).

Josiah et al. (2001), karık sulama yöntemi ile sulanan domatestede verim ve toprak nem düzeyi arasındaki ilişkiyi belirlemek için toprak infiltrasyon hızı ile verim arasındaki değişimin haritalanmasından aynı zamanda bitki su tüketimindeki değişimle verim arasındaki değişimin haritalanmasından yararlanılmışlardır. Bu amaç için tarla alt gruplara bölünmüş, 40×40 m grid'ler oluşturularak toplam 56 adet DGPS istasyonu oluşturulmuştur. Toprağın 90 cm'lik profilindeki nem değişimini

gözlemlemek için 15, 45 ve 75 cm derinliğe nem sensörleri yerleştirilmiş ve değerlerin araziden aynı derinlikten alınan toprak örnekleri ile kalibrasyonları yapılmıştır. Çalışmada ET su bütçesi yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre ET ve infiltrasyon hızına ilişkin verim haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca denemede geliştirilen bir verim monitörüyle hasat esnasında verim değerleri kaydedilip verim haritaları oluşturulmuştur. Çalışmanın sonunda araştırmacılar karık sonlarına yeterli su girmediği için ET, infiltrasyon hızı ve verimin düşük olduğunu buna karşılık karık başlarında anılan değerlerin yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ancak, araştırmacılar nemin yeterli olduğu yerlerde verimin istenilen düzeylerde olmadığını dolayısı ile verim değişikliği üzerinde nemin tek başına etkili olmadığını diğer faktörlerin de etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Sulama programlamasının toprak nem içeriğine göre yapılması durumunda topraktaki nem değişiminin çeşitli sensörlerle izlenmesi gerekir. Bu amaçla kablosuz olarak data loggera veri aktarabilen elektronik tansiyometre, TDR (Time Domain Reflectometer), EC (Elektriksel iletkenlik) ve GMS (Granular Matrix Sensor) gibi sensörler geliştirilmiştir. Bu sensörler hassas tarıma uygun olarak hızlı ve hassas biçimde toprak nemini ölçebilmektedirler.

Schmitz ve Sourell (2000), yaptıkları çalışmada üç farklı toprak nem sensörünün (TDR, EC ve GMS sensör) tarla koşullarında ölçüm doğruluğunu araştırmışlardır. Araştırmacılar toprak nem düzeyinin anılan sensörlerle hassas olarak ölçülebilmesi için doğru bir şekilde kalibrasyonlarının yapılması ve bir arazi içerisinde yerleştirilmesi gereken aralıklara özen gösterilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Aksi durumda aynı sensörün aynı toprak koşullarında farklı düzeylerde ölçüm değeri verebileceğini belirtmişlerdir.

Thompson ve ark. (2006), damla sulama yöntemiyle sulanan kavun ve biber bitkisinde sulama programlaması amacıyla toprağın matrik potansiyelini ölçen özel bir sensör (Watermark 200SS sensör) ile elektronik tansiyometrelerin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırmacılar her iki sensör tipinin uygun bir şekilde kalibrasyonlarının yapılarak topraktaki nem değişiminin izlenmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kesmez ve ark. (2008), toprak tuzluluğunun toprağın hacimsel elektriksel iletkenliğinin ( $EC_a$ ) arazide ölçülmesiyle belirlenebileceğini ve bu amaç için  $EC_a$  değerinin arazide ya toprağa yerleştirilen elektrotlar (dört prob (Wenner dizilimi), TDR probu) yardımıyla veya elektromanyetik dalgalar yayan cihazlarla (Geonics EM-31 veya EM-38 ölçüm cihazı) uzaktan algılama yoluyla ölçülebileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar arazi ölçüm yöntemleri GIS tabanlı yapıldığı için tuzluluğun ölçüm yapılan alandaki yayılımının haritalanabileceğini ve yersel olarak değişimin değerlendirilebileceğini bildirmişlerdir.

Sönmez ve ark. (2008), spektrometre aleti ile farklı düzeyde sulanan çim bitkisindeki yansıma değerleri ve çim kalitesini incelemişlerdir. Yapılan tarla denemesinde günlük buharlaşmanın %100, %75, %50 ve %25 düzeylerinde sulama yapılmıştır. %100 ve %75 düzeylerinde sulanan parsellerde en iyi çim kalitesi elde edilmiştir. Sulama suyu miktarındaki azalma ile çim kalitesinin azaldığını ayrıca yansıma değerlerinin farklı sulama düzeylerine göre değiştiğini saptamışlardır.

Karataş ve ark. (2006), uzaktan algılama ile ET'nin belirlenmesinde kullanılan SEBAL yöntemini bir uygulama ile örneklemiştir. Bu amaç için araştırmacılar bulutsuz bir gün olan 14 Ağustos 2004 tarihli ve Aşağı Gediz Sulama Sistemini kapsayan bir NOAA-16/AVHRR uydusundan alınan görüntüyü işleyerek gerçek ( $ET_a$ ) ve potansiyel ( $ET_p$ ) evapotranspirasyona ilişkin sonuç haritaları belirlemişler ve bir örnek olarak Gökkaya Sulama Birliğinde belli bir periyot için  $ET_a$  değerlerini saptamışlardır. Araştırmacılar UA ile sistem ve havza bazında ET hesaplamalarının yapılabileceğini, arazi yüzeyinin tarımsal ve hidrolojik koşullarıyla ilgili geleneksel yöntemlere göre daha sık, objektif ve güvenilir bilgiler sağlanabileceğini ayrıca su kullanımının alansal ve zamansal değişiminin izlenmesiyle su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin korunacağını belirtmişlerdir.

Sulama ve drenaj birbirlerini tanımlayan iki önemli mühendislik dalıdır. Sulama ile kuru koşullara göre, 3-7 kat verim artışının sağlandığı açıklanmakla birlikte, drenajın sulama ile ilişkisinin yeterli ölçüde

önemsenmemesi, sulu tarım alanlarında tuzluluk, alkalilik ve taban suyu gibi, geri dönüşü çok güç olan sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Tarımsal drenajın önemi bilinmekle birlikte, çoğu kez sulama sistemlerinden sonra düşünüldüğünden anılan problemler hemen tüm sulanan alanlarda karşılaşılmaktadır (Kanber ve ark., 2005).

Nitekim Çetin ve Diker (2003), Aşağı Seyhan Ovasında 8494 ha'lık bir pilot alanda drenaj sorunu olan yerlerin belirlenmesi için CBS'den yararlanmışlardır. Yapılan çalışmada anılan bölgeye en uygun drenaj sistemleri önermek için taban suyunun derinliği, tuzluluğu ve deniz seviyesinden yüksekliğinin bölgesel ve zamansal değişimi incelenmiştir. Bu amaç için 1991-1998 yılları arasında ayda bir kez 85 gözlem kuyusundan ölçülen taban suyu derinliği ve sulamanın en yoğun olduğu Temmuz aylarına ilişkin taban suyu tuzluluk değerlerinin bölgesel ve zamansal değişimi anılan yıllar için incelenmiştir. Elde edilen veriler ve CBS'den yararlanılarak verim haritaları oluşturulmuştur. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada, çalışma alanının %99.8'lik kısmında değişik düzeylerde drenaj problemi olduğunu, bu drenaj probleminin birincil nedeninin aşırı sulama suyunun sebebiyet verdiğini, bölgedeki ana, sekonder ve tersiyer drenaj kanallarının otlama ve siltasyondan dolayı etkin çalışmadığını, taban duyu derinlik değişiminin bir toprakaltı drenaj sistemi gerektirecek kadar önemli değişim göstermediğini ancak çalışma alanı içerisindeki bazı alanların aşırı sulama suyu uygulamaları devam ederse değinilen alanların taban suyu tuzluluk değerlerinin sulamanın yoğun yapıldığı Temmuz aylarında artmasının olası olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar geniş arazilerde geleneksel yöntemlerle drenaj problemlerinin bölgesel ve zamansal değişiminin incelenmesinin çok fazla işgücü ve zaman kaybına sebebiyet verdiğini CBS ile bu değişimin daha kısa sürede ve güvenilir verilerle saptanabileceğini belirtmişlerdir.

Harmel et al. (2004), mısırdaki yağışlarla yüzey akışa geçen suyun kalitesinde değişken düzeyli azot ile geleneksel uygulamaları iki yıllık bir çalışma ile karşılaştırmıştır. Değişken düzeyli uygulamada tarla düşük, orta ve yüksek düzeyli azot uygulaması olmak üzere 3 gruba bölünmüş ve her bir bölüm DGPS alıcısı ile donatılmıştır. Elde edilen veriler CBS'den

yararlanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda değişken düzeyli uygulama ile geleneksel yöntemlere göre N miktarında %4-7 azalma sağlandığını saptamışlardır. Bu durumunun hem gübre hem de çevre kirliliğini azaltacağını bildirmişlerdir. Araştırmacılar yüzey akışa geçen suyun kalitesi üzerinde ortalama değerlere göre N konsantrasyonunun değişken düzeyli uygulama ile özellikle 2. yılda düştüğünü saptamışlardır.

Apaydın ve Öztürk (2003), Ankara-Yenimahalle-Güvenç havzasının yüzey akış ve sediment tahmininin belirlenmesinde dünyada yaygın bir şekilde kullanılan yağış-yüzey akış-erozyon modellerinden olan AGNPS, SWRRB ve GLEAMS'in CBS yardımıyla uygulanışı, CBS'nin bu modellere sağlayacağı yararları ve modellerin geçerliliğini incelemişlerdir. Çalışmada CBS ile havza alanı ve alt havza sınırlarının belirlenmesi yanında akımın geldiği hücre, hücrenin ait olduğu alt havza, hücre alanı, ortalama yüksekliği, eğimi, yöneyi, topografik katsayısı, akım uzunluğu, akım yolu eğimi, konsantrasyonun başladığı eğim ve uzunluk belirlenmiştir. Araştırmacılar çalışmanın sonunda aylık, yıllık ve uzun yıllar sonuçlarına göre üç modelin de ölçülen değerlere yakın veya paralel sonuçlar vermediğini ancak bu durumun Güvenç havzası için geçerli olduğunu ve modellerin Türkiye'deki geçerliliğinin belirlenebilmesi için benzer çalışmaların farklı büyüklük ve yerlerdeki havzalarda yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Gündoğdu ve ark. (2001), sulama projelerinin izlenmesi ve değerlendirilmesinde CBS destekli bir veri tabanı oluşturmasına yönelik SUGIS modeli üzerinde çalışmışlardır. Model veri girişi, proje bilgileri, su yöntemi ve değerlendirme olmak üzere 4 bölüme ayrılmış ve bu bölümlerin farklı alt menü seçenekleri bulunmaktadır. Araştırmacılar yaptıkları çalışma ile büyük emek ve harcamalarla gerçekleştirilen geniş kapsamlı projelerin her türlü aktiviteyi içeren bu tip izleme ve değerlendirme bilgi sistemleri ile kısa dönemde uygulamada ortaya çıkacak sorunların çözümüne, uzun vadede ise yeni politikaların oluşumuna katkı sağlayacağını bildirmişlerdir.

Köseoğlu ve Gündoğdu (2004), arazi toplulaştırma çalışmalarının önemli bir aşaması olan planlama çalışmalarının yürütülmesinde gereksinim duyulan verilerin (arazi kullanım

durumu, arazi parçalılığı ve parsellerin fiziksel durumu, yerleşim yerleri ve proje alanındaki sabit tesisler, sulama ve drenaj sistemi, yol sistemi, doğal kaynaklar ve sorunlu alanların belirlenmesi) UA teknikleriyle elde edilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışma Bursa-Karacabey ilçesi, Eskisarıbey-Yenisarıbey-Ortasarıbey ve Sazlıca köylerinde toplam 2677,5 ha'lık bir alanda yürütülmüştür. Çalışmada örnek alanı kapsayan 06.08.1998 tarihli Landsat 5 TM uydu görüntüsü kullanılmıştır. Elde edilen verilerde görüntü işleme ve haritalama, haritaların sayısallaştırılması aşamaları uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda, planlama verilerinden arazi parçalılığı ve parsellasyon durumuna ilişkin bilgilerin kullanılan uydu görüntüsü ile sağlanmadığını, daha fazla yersel çözünürlüğe sahip olan uydu görüntüsünden yada hava fotoğraflarından yararlanılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Bu bilgiler kapsamında tarımsal üretimde sulamanın farklı uygulama alanlarında hassas uygulamalı tarımın teknolojisinin bileşenlerinden yararlanıldığı görülmektedir.

## Kaynaklar

- Apaydın, H., Öztürk, F., 2003. Yüzeysel Akış ve Sediment Modellerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Uygulanması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 9(4), 381-389
- Auernhammer, H., 2001. Precision Farming-The Environmental Challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1-3), 31-43.
- Çakmak, B., Kendirli, B., 2002. Sürdürülebilir Tarımda Sulama ve Çevre. *Türktarım Dergisi*, 145, 21-23.
- Çetin, M., Diker, K., 2003. Assessing Drainage Problem Areas By GIS: A Case Study In The Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Irrigation and Drainage*, 52, 343-353.
- Ehlert, D., 2000. Measuring Mass Flow by Bounce Plate for Yield Mapping of Potatoes. *Precision Agriculture*, 2(2), 119-130.
- Ekdahl, H., 2000. Agricultural Technology and the Total System. *J. Agric. Engng. Res.*, 76, 249-250.
- Fountas, S., Blackmore, S., Ess, D., Hawkins, S., Blumhoff, G., Lowenberg-Deboer, J., Sorensen, C.G., 2005. Farmer Experience with Precision Agriculture in Denmark and the US Eastern Corn Belt. *Precision Agriculture*, 6(2), 121-141.
- Güler, M., Kara, T., 2005. Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojisine Genel Bir Bakış. *OMÜ Zir. Fak. Derg.*, 20(3), 110-117.
- Gündoğdu, K.S., Akkaya Aslan, Ş.T., Değirmenci, H., Demir, A.O., Demirtaş, C., Arıcı, İ., 2001. Sulama Projelerinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesinde GIS Destekli Veri Tabanı Oluşturulması. *I. Ulusal Sulama Kongresi*, 8-11 Kasım 2001, Antalya: 233-239.
- Harmel, R.D., Kenimer, A.L., Searcy, S.W., Torbert, H.A., 2004. Runoff Water Quality Impact of Variable Rate Sidedress Nitrogen Application. *Precision Agriculture*, 5(3), 247-261.
- Josiah, M.N., Upadhyaya, S.K., Rosa, U., Andraden, P., Mattson, M., 2001. Mapping Field Variability In Infiltration Rate and Evapotranspiration In A Tomato Production Sytem. *Transaction of The Asae Paper No: 99-1147*.
- Kanber, R., Çullu, M.A., Kendirli, B., Antepli, S., Yılmaz, N., 2005. Sulama, Drenaj ve Tuzluluk. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi*, 3-7 Ocak 2005, Ankara, Cilt 1: 213-251.
- Karataş, B.S., Akkuzu, E., Avcı, M., 2006. Uzaktan Algılama Tekniğiyle Evapotranspirasyonun Belirlenmesi. *4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri*, 13-16 Eylül 2006, İstanbul: 1-8.
- Keefe, K.O., Julien, O., Cannon, M.E., Lachapelle, G., 2006. Availability, Accuracy, Reliability, and Carrier-Phase Ambiguity Resolution With Galileo and GPS. *Acta Astronautica*, 58(8), 422-434.
- Kesmez, D., Suarez, D.L., Lesch, S.M., Ünlükara, A., Yurtseven, E., 2008. Tarım Alanlarında Tuzluluğun Belirlenmesinde Yeni Yaklaşımlar. *DSİ Sulama-Tuzlanma Konferansı*, 12-13 Haziran 2008, Şanlıurfa, Bildiri Kitabı: 207-218.
- Kirişçi, V., Keskin, M., Say, S.M., Görücü, S., 1999. *Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojisi*. Nobel Yay. 88, 186 s., Adana.

## 7. Sonuç

Hassas uygulamalı tarım, sürdürülebilir bir tarımsal üretimin gerçekleştirilmesi için gelenekselleşmiş uygulamalardan farklı olarak tarlayı alt gruplara ayıran ve her bir alt gruba gereksinim duyduğu kadar girdi kullanımını sağlayan bir tarım uygulamasıdır. Hassas uygulamalı tarım bu yönü ile girdilerin etkinliği arttırılmakta, maliyet azalmakta, homojen bir verim ve en önemlisi çevre dostu bir tarım uygulanması sağlanmaktadır. Ancak hassas tarımda başarı kullanılan teknolojiye bağlıdır ve bu teknolojinin alt yapısı oldukça pahalıdır. Bu nedenle araştırma düzeyinde çalışmalar yapılmakla birlikte, üretici düzeyinde kullanımı henüz yaygın değildir.

Hassas uygulamalı tarım teknolojisinin uzaktan algılama ve CBS gibi bileşenlerinin sulamanın farklı uygulama alanlarında kullanıldığı ve birçok araştırmacının da belirttiği gibi bu teknolojiler ile kısa sürede daha hızlı ve güvenilir veriler elde edilebileceği ve üretim alanlarını tanımlayıcı veri tabanı oluşturulmasının sağlanacağı söylenebilir.



## Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojilerinin Sulama Alanında Kullanımı

- Köseoğlu, M., Gündoğdu, K.S., 2004. Arazi Topluşturma Planlama Çalışmalarında Uzaktan Algılama Tekniklerinden Yararlanma Olanakları. *Uludağ Üniv. Zir. Fak. Derg.*, 18(1), 45-56.
- Lechner, W., Baumann, S., 2000. Global Navigation Satellite Systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25(1-2), 67-85.
- Machado, S., Bynum, E.D., Archer, T.L., Lascano, R.J., Wilson, L.T., Bordovsky, J., Segarra, E., Bronson, K., Nesmith, D.M., Xu, W., 2000. Spatial and Temporal Variability of Corn Grain Yield: Site-Specific Relationships of Biotic And Abiotic Factors. *Precision Agriculture*, 2(4), 359-376.
- Maktav, D., 2006. Uzaktan Algılama-CBS Entegrasyonu. 1.Ulusal Uzaktan Algılama-CBS Çalıştay ve Paneli, 27-29 Kasım 2006, İstanbul.
- McBratney, A.B., Pringle, M.J., 1999. Estimating Average and Proportional Variograms of Soil Properties and Their Potential Use in Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 1(2), 125-152.
- Peker, K., Çelik, Y., Oğuz, C., Direk, M., 2005. Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojilerinin Üretim Ekonomisi ve Şanlıurfa İlinde Pamuk Üretimi Yapılan İşletmelerde Kullanılabilme Olanakları. GAP IV. Tarım Kongresi, 21-23 Eylül 2005, Şanlıurfa, Cilt 1: 389-394.
- Reyns, P., Missotten, B., Ramon, H., Baerdemaeker, J.D., 2002. A Review of Combine Sensors for Precision Farming. *Precision Agriculture*, 3(2), 169-182.
- Schmitz, M., Sourell, H., 2000. Variability in Soil Moisture Measurements. *Irrigation Sci.*, 19: 147-151.
- Stafford, J.V., Ambler, B., 1994. In-field Location Using GPS for Spatially Variable Field Operations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 11(1), 23-36.
- Stafford, J.V., 2000. Implementing Precision Agriculture in The 21st Century. *J. Agric. Engng. Res.*, 76(3), 267-275.
- Seelan, S.K., Laguette, S., Casady, G.M., Seielstad, G.A., 2003. Remote Sensing Applications for Precision Agriculture: A Learning Community Approach. *Remote Sensing of Environment*, 88, 157-169.
- Sönmez, K., Emekli, Y., Sarı, M., Baştuğ, R., 2008. Relationship Between Spectral Reflectance and Water Stress Conditions of Bermudagrass (*Cynodon Dactylon L.*). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 51, 223-263.
- Tekin, A.B., Sındır, K.O., 2006. Tarımsal Üretimde Hassas Tarım. XI. Türkiye İnternet Konferansı, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara.
- Timmermann, C., Gerhards, R., Kühbauch, W., 2003. The Economic Impact of Site-Specific Weed Control. *Precision Agriculture*, 4(3), 249-260.
- Thompson, R.B., Gallardo, M., Agüera, T., Valdez, L.C., Fernandez, M.D., 2006. Evaluation of The Watermark Sensor for Use With Drip Irrigated Vegetable Crops. *Irrigation Sci.*, 24: 185-202.
- Torbett, J.C., Roberts, R.K., Larson, J.A., English, B.C., 2007. Perceived Importance of Precision Farming Technologies In Improving Phosphorus and Potassium Efficiency In Cotton Production. *Precision Agriculture*, 8(3), 127-137.
- Uçar, Y., Başayığit, L., 2001. Sulu Tarımda Uzaktan Algılama Tekniklerini Kullanma Olanakları. Tarımsal Bilişim Teknolojileri 4. Sempozyumu, 20-22 Eylül 2001, Kahramanmaraş: 224-231.
- Uçar, Y., Kara, M., 2001. Sulama Şebekelerinin Fiziksel Yeterliliğinin Belirlenmesinde Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. I. Ulusal Sulama Kongresi, 8-11 Kasım 2001, Antalya: 227-232.
- Vatandaş, M., Güner, M., Türker, U., 2005. Hassas Tarım Teknolojileri. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası 6. Teknik Kongresi, 3-7 Ocak 2005, Ankara: 347-365.
- Zhang, N., Wang, M., Wang, N., 2002. Precision Agriculture-A Worldwide Overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2-3), 113-132.