

HASSAS TARIM TEKNOLOJİLERİ

Mustafa VATANDAŞ¹, Metin GÜNER¹, Ufuk TÜRKER²

ÖZET

Tarım, ülkemizde uzun yıllardır bilişim sektörünün ilgi alanı dışında kalmış olmasına karşın; son yıllarda ve özellikle gelişmiş ülkelerde bilgi teknolojilerinin gelişimiyle insana, bitkiye, hayvana ve çevreye duyarlı, üretimde kalite ve verimlilik faktörlerini ön planda tutan bir evrim geçirmektedir. Tarımsal üretimde insan gücünden hayvan gücüne ve daha sonra da traktör gücüne geçiş sürecinin devamı olarak değerlendirilen ve hassas tarım (precision farming) olarak adlandırılan teknolojiler de bu evrim süreciyle ortaya çıkmıştır. Hassas tarım, ekonomi ve çevre koruma ilkelerini göz önünde tutarak; bilişim çağının gelişen teknolojilerinin tarımsal üretimle bütünleştirilerek kullanılmasını ifade etmektedir.

Geleneksel tarımda toprak yönetimi, üretim ortamının yeknesak bir şekilde ele alınıp işletilmesiyle yapılmaktadır. Üreticiler her ne kadar tarlalarının değişik bölümlerinden farklı miktarlarda ürün aldıklarını veya farklı toprak bünyesine sahip olduklarını bilseler de, bu bilgiyi üretime dönük olarak 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. Hassas tarım, yetiştiricinin bilgi teknolojilerini kullanarak arazisinde nasıl bir değişkenlik olduğunu doğru bir şekilde tespit etmesi, anlaması ve arazinin alt bölümlerinde bu değişkenliğe uygun girdi uygulamasıyla ortaya çıkan bir işletmecilik şeklidir.

Hassas tarım, girdi kullanımının azaltılması konusundaki baskılar altında, geliştirilmiş bilgi ve kontrol sistemlerinin kullanımıyla etkinliğin artırılması sayesinde kaynak israfının önüne geçmeyi, ürünün brüt getirisini artırmayı ve üretimden kaynaklanan çevresel kirliliği en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Hassas tarım teknikleri, toprak işlemeden hasada kadar bitkisel üretimin hemen her döneminde kullanılabilir. Uygulamada toprak analizi, toprak işleme, ekim, gübreleme, ilaçlama, ürün koşullarını izleme ve hasat işlemlerinin daha etkin bir şekilde yerine getirilmesinde bu tekniklerden yararlanılabilmektedir.

Bu çalışmada çağımızın gelişen bilgi teknolojilerinin tarımsal üretimle bütünleştirildiği hassas tarım ve bununla ilgili olan teknolojilerin tanıtılması ve uygulama olanaklarının incelenmesi amaçlanmıştır.

1) Prof.Dr., Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü,

2) Yard.Doç.Dr., Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü.

1. GİRİŞ

Hassas tarım dünyada değişik terimler kullanılarak ifade edilmektedir. Bunlar arasında, alana özgü tarım (site specific farming), alana özgü işletme (site specific management), bilgisayar destekli tarım (computer aided farming), reçeteli tarım (prescription farming), değişken oranlı girdi uygulama (variable rate application), noktasal tarım (spot farming) sayılabilmektedir. Kullanılan terim hangisi olursa olsun hassas tarım, kontrol, elektronik, bilgisayar ve veri tabanı ile hesap bilgisini biraraya getirerek gelişmiş bir sistem yaklaşımı ortaya koymaktadır. Hassas tarım teknolojisinin bileşenleri; küresel konum belirleme sistemleri (global positioning systems, GPS), coğrafi bilgi sistemleri (geographical information systems, GIS), değişken oranlı girdi uygulama (variable rate application, VRA) ve uzaktan algılama (remote sensing)'dir.

Günümüzde tarımsal üretim girdilerinin çevreye olan etkileri ve girdi maliyetlerinin azaltılması yönündeki baskılar gelişen teknolojiyle birlikte gittikçe artmaktadır. Bu baskı tarım arazilerinin fiziksel ve coğrafi değişkenlikleri, tekdüze olmayan toprak, ürün ve çevre faktörleri, girdilerin çevreye etkisi ve maliyetlerinin yükselmesi karşısında artan bir yoğunluk göstermektedir. Hassas tarım, girdilerin etkin (gerektiği miktarda) kullanımıyla ekonomikliğini sağlamayı ve bu yolla çevreye olan etkilerini azaltmayı öngörmektedir. Bu durum aynı zamanda ürün kalitesinde de tekdüzeliğin sağlanmasına katkıda bulunabilmektedir.

Hassas tarımın hedefleri arasında;

- Gübre ve ilaç gibi kimyasal giderlerinin azaltılması,
- Çevre kirliliğinin azaltılması,
- Yüksek miktarda ve kaliteli ürün sağlanması,
- İşletme ve yetiştiricilik kararları için daha etkin bir bilgi akışının sağlanması,
- Tarımda kayıt düzeninin oluşturulması

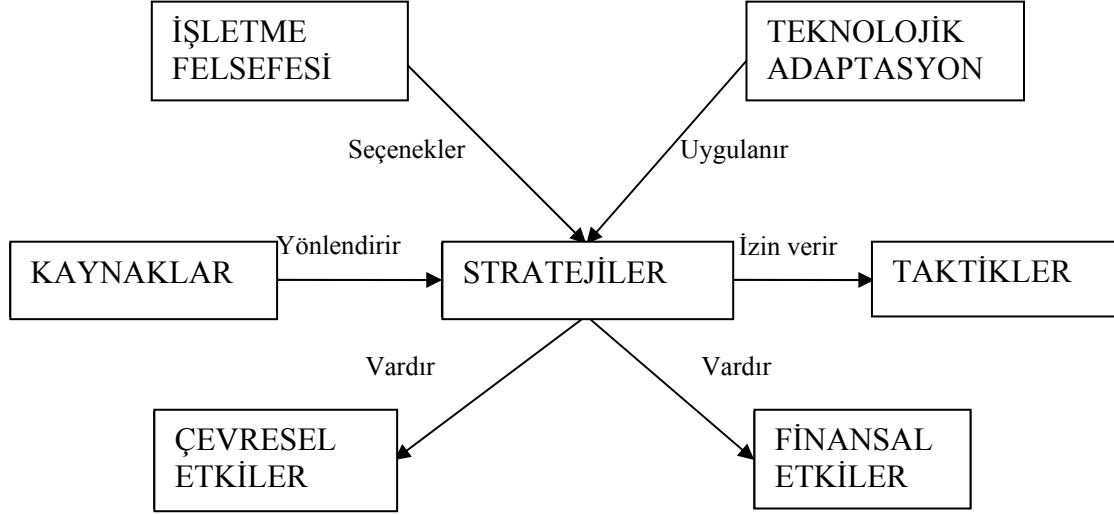
sayılabilmektedir.

Hassas tarımın pratikte uygulanabilmesi, arazideki değişkenliğin farklı girdi kullanımını mümkün kılacak yeterli büyüklükte olması şartına bağlıdır. Örneklemeler yeterli değişkenliği belirleyecek ölçeklerde olmalıdır. Değişken girdi uygulamasına geçmeden önce;

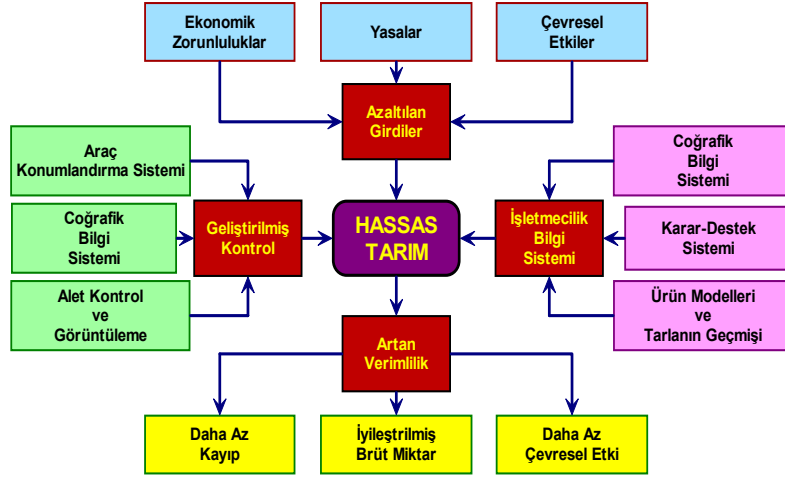
- Değişkenlik belirlenmeli ve nicelleştirilmeli,
- Değişkenliğe neden olan unsurlar belirlenmeli,
- Üretimi iyileştirmek ve zenginleştirmek için problemlerin düzeltilmesine yönelik, yönetim ve işletim kararları belirlemeli,
- Bu uygulamaların ekonomik getirileri analiz edilmeli,
- Kesin ekonomik fayda ve getiri sağlayacak işletme ve yönetim etkinliği belirlenmelidir.

Hassas tarımda değişkenler; alansal (spatial), zamansal (temporal) ve ekonomik olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Burada öncelikle değişkenlik belirlenmelidir ve daha sonra pratik bir işletmecilik kararı alınmalıdır. Bunlara bağlı olarak doğru strateji ve pratiklerin adaptasyonu ve geliştirilmesi, hassas tarımın başarılmasını

mümkün kılacaktır (Şekil 1). Karar sürecinde geliştirilen yazılımları kullanma olanakları bulunmakla birlikte, doğru ve zamanında elde edilmiş verilere de gereksinim duyulmaktadır (Blackmore, 1996). Hassas tarımda tek hedef hiç bir zaman verim artışı olmamakta, verim kaybına yol açmayacak şekilde girdi kullanımında tasarrufa imkan verecek uygulamaları da içermektedir. Hassas tarım uygulamalarında bir çok bileşen karşılıklı olarak etkileşim halindedir . Bu bileşenler ve birbirleriyle etkileşimleri Şekil 2’de görülmektedir.

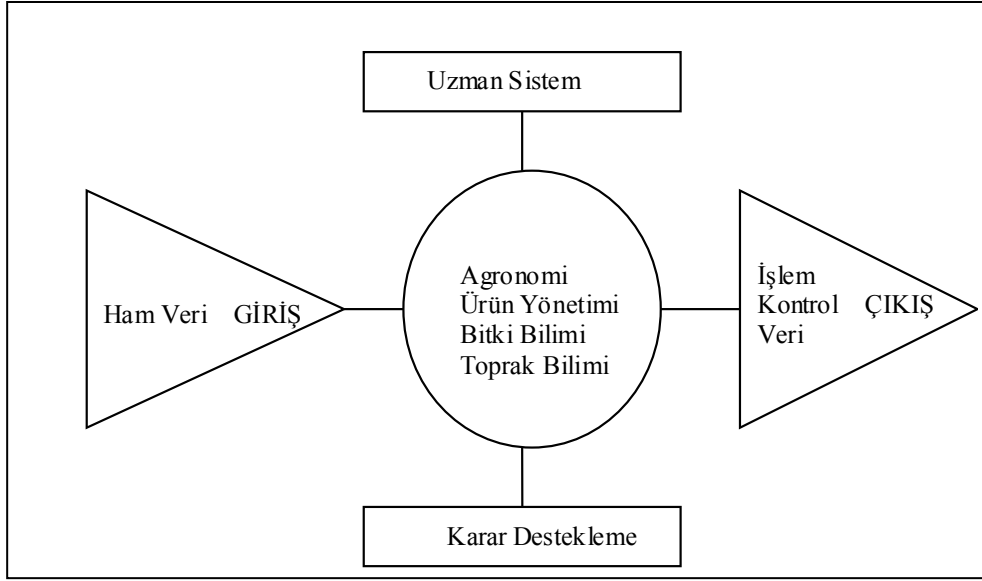


Şekil.1 Hassas tarımda strateji oluşumu ve etkisi (Blackmore, 1994)



Şekil 2. Hassas tarım sisteminin bileşenleri ve etkileşimleri (Türker, 2001)

Bitkisel üretim yönetimi ve işletmeciliğinde, araziye ait fiziksel ve coğrafi değişkenliklerin anlaşılabilmesi ve yorumlanabilmesi için çeşitli görüşler ortaya atılmaktadır. Bu görüşlerin uygulamaya konulabilmesi ve değişken oranlı uygulamaların gerçekleştirilebilmesi için, bir karar destek sistemine (decision support system) gereksinim duyulmaktadır. Bunun yanında algılama (sensing), izleme (monitoring), kontrol ve veri transfer sistemleri, hassas tarım uygulamaları için gerekli olan teknolojilerdir. Şekil 3'te teknolojik fonksiyonlar ile işletme fonksiyonları arasındaki bağlantı için gerekli olan veri akışı diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3. Hassas tarımda veri akış diagramı (Stafford, 2000)

Son yıllarda, üretimi artırma yollarını ortaya koymaya çalışan araştırma çalışmalarına paralel olarak AB ülkelerinde, çevreye zarar vermeyecek, ekonomik ve sürdürülebilir tarım sistemlerinin geliştirilmesi fikri ağırlık kazanmaktadır. ABD’de ise bu konu 1980’li yılların sonuna doğru kongre gündemine gelmiş ve yasal bir nitelik kazanmıştır. Hassas tarım konusundaki araştırma, eğitim ve yayımla ilgili olan ve ilk defa ulusal bir yasada hassas tarımın tanımının yapıldığı bu yasada, özetle şu hususlar yer almaktadır:

- Hassas tarımla ilgili USDA araştırma projeleri ve üniversitelerin eğitim programları desteklenecektir,
- Araştırma sonuçları tarımla uğraşan kesime hızla ulaştırılacaktır,
- Uzun zaman alabilecek alana özgü olan ve üretim etkinliğini, verimliliği ve karlılığı arttırmaya yönelik olan araştırmalar gündeme alınacak ve bu tür araştırmaların sayısı artırılacaktır,
- Hassas tarım yöntemlerinin çevreye ve doğal yaşama olan olumlu katkıları göz önüne serilecektir,
- İşbirliği içindeki yayın kuruluşlarının, ürün danışmanlarının, tarımsal üreticilerin, makina, ürün ve hizmet sağlayıcılarının ve tarımla ilgili diğer kesimlerin bu konuda eğitimi sağlanacaktır,
- Bu konuda gerekli teşvik ve destekler sağlanacaktır.

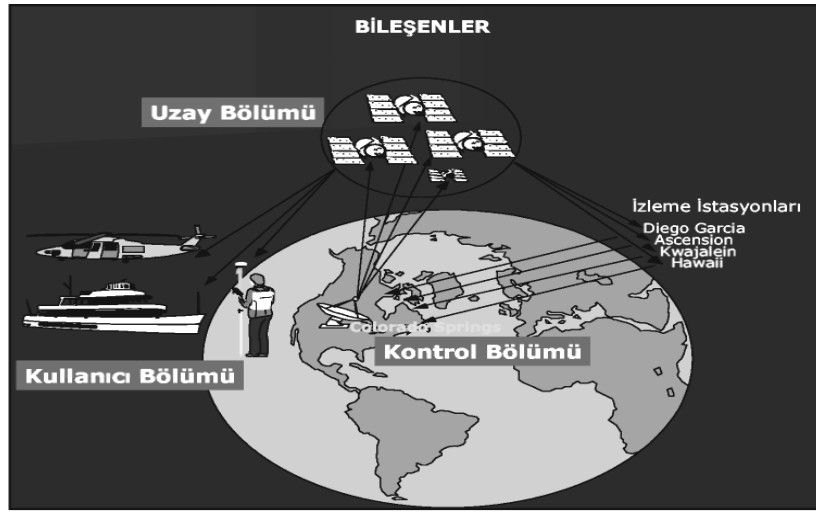
2. HASSAS TARIMDA VERİ TOPLAMA VE MEKANSAL DEĞİŞKENLİĞİN ÖLÇÜLMESİ

2.1. Küresel Konum Belirleme Sistemleri

Bu sistemler, herhangi bir zamanda dünyanın herhangi bir yerinde bulunan bir kullanıcının konumunu belirleyen ve en az 4 uydudan ölçüm yapılması esasına dayanan bir uydu ölçme sistemidir. Küresel konum belirleme sistemleri ilk olarak ABD Savunma Bakanlığı tarafından seyrü sefer amaçlı kullanılmış olup, günümüzde

tarım dahil pek çok sektörün hizmetine sunulmuştur. Tarımsal amaçlı kullanımda bu sistemler, verim izleme, toprak ve bitki örnekleme gibi konularda veri toplamada kolaylık, hız ve ekonomiklik sağlamaktadırlar.

Sistem temel olarak, bir noktadan konumu bilinen noktalara yapılan gözlem ve hesaplamaları kapsamaktadır. Konumu bilinen noktalar GPS uydularıdır. Bilinmeyenler ise bulunulan noktanın yer merkezli koordinatlarıdır (X,Y,Z). Matematik kuralı olarak bu 3 bilinmeyen için 3 ölçü değeri yetiyor gibi gözükse de, saat hatalarını ortadan kaldırmak için en az 4 tane konumu bilinen uyduya ihtiyaç duyulmaktadır. Burada kullanılan GPS 4 boyutlu bir sistemdir ve 3 ana bölüme ayrılmaktadır. Bunlar uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümüdür (Şekil 4).



Şekil 4. Küresel konum belirleme sisteminin bileşenleri (Anonymous, 2004 a)

Bu bölümlerin bazı özellikleri şöyle özetlenebilmektedir:

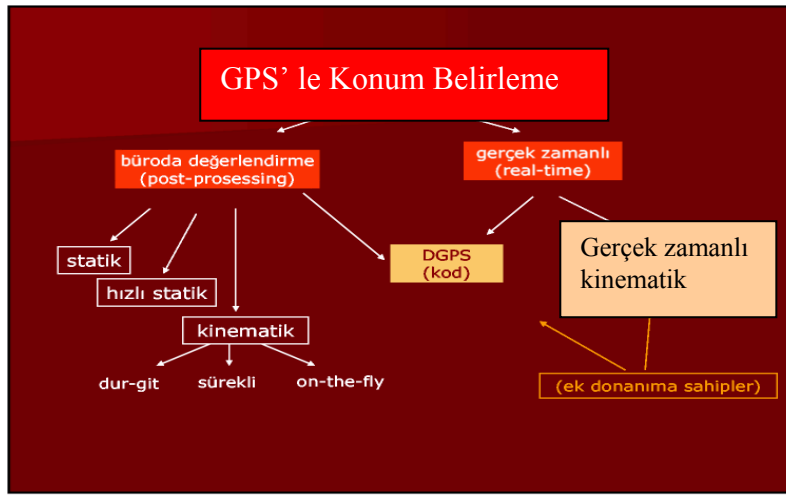
- **Uzay bölümü** : İki 1978' de uzaya fırlatılan 6 yöründeki 24 GPS uydusundan oluşmaktadır. Dünyanın herhangi bir yerinden, herhangi bir zamanda en az 5-8 uydu ile bağlantı kurulabilmektedir.
- **Kontrol bölümü** : Yeryüzündeki belirli istasyonlar, uydu yörüngelerini ve uydu saat düzeltmelerini hesaplamakta ve ABD'deki ana kontrol istasyonu düzeltilmiş bilgileri uydulara yüklemektedir.
- **Kullanıcı bölümü** : GPS uyduları tarafından gönderilen verileri alabilen GPS alıcıları ve bunların fonksiyonel parçalarından oluşmaktadır.

Uydularla konum belirlemede, uydu sinyalleri bir alıcı tarafından kaydedilerek, sinyalin uydudan yayınlandığı an ile alıcıda kaydedildiği an arasında geçen süre çok hassas olarak ölçülmektedir. Bu süre sinyalin yayılma hızıyla çarpılarak uydu ile alıcı arasındaki mesafe belirlenebilmektedir. Uydunun koordinatları zamana bağlı olarak bilindiğinden, alıcının konumu kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

2.2. GPS Yardımıyla Ölçme Yöntemleri

GPS donanımını oluşturan bileşenler, GPS alıcısı, diferansiyel düzeltme sinyali alıcısı, GPS alıcısı, GPS anteni, diferansiyel düzeltme anteni, uydu bilgisayar, monitör ve ararım (RS-232)'dir.

GPS’de ölçülen noktaların cinsine, istenen duyarlılığa ve amaca göre farklı ölçme metodları kullanılmaktadır. Sonuçta elde edilen koordinatlar alıcı tipine, gözlem süresine, uyduların konumuna ve sayısına ve ölçü tipine göre değişmektedir. Bir noktanın doğrudan doğruya dünya üzerindeki konumu (enlem, boylam, yükseklik vb) belirlenebiliyorsa buna mutlak konum belirleme (point positioning) denilmektedir. Birden fazla noktanın birbirine göre konumlarının belirlenmesine ise, bağıl konum belirleme (relative positioning) denmektedir. Konumu belirlenecek nokta, hareketsiz ise (mirengi, poligon, detay, toprak örnekleme noktası vb) statik konum belirleme; hareketli ise (traktör, biçerdöver, ilaçlama uçağı vb) kinematik konum belirlemeden söz edilmektedir. Ayrıca tarımsal araç ve makinelerin seyrü seferi amacıyla anlık (real-time) konum belirleme yapılabilmektedir (Şekil 5). Daha hassas sonuçlar elde etmek için, arazideki ölçmelerden sonra ofiste değerlendirme (post-processing) yapmak da mümkündür. GPS uygulamaları, arazi sınırlarının çizimi, ürün izleme ve değerlendirme, verim izleme ve toprak örnekleme içerir.



Şekil 5. GPS’le konum belirleme (Anonymous, 2004 a)

2.2.1. Diferansiyel GPS (DGPS)

GPS uydularına ait sinyallerin, güvenlik ve kötü amaçlı kullanımı engellemek gerekçesiyle bazı ülkelerce bozulması veya şifrenmesi dolayısıyla; düzeltilmesi ve doğruluğunun artırılması gerekmektedir. Bu işlem, diferansiyel GPS tekniğiyle gerçekleştirilmektedir. Bu sistemde konum, belirli bir referans noktasına göre yapılmakta ve temel olarak ölçülerin olması gereken değerleri verilerle karşılaştırılmaktadır.

2.2.2. Gerçek zamanlı kinematik ölçme

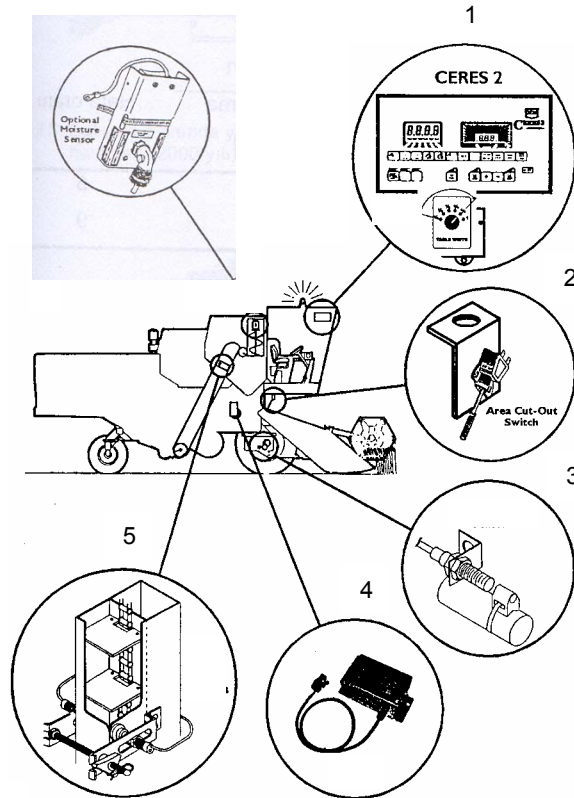
Bu teknikte, standart GPS konfigürasyonuna ek olarak radyo modem ve RTK (real-time kinematic) kontrol ünitesi kullanılmaktadır. Böylece koordinatlar cm duyarlılığında arazide üretilebilmektedir. Bu amaçla diferansiyel algoritma kullanılmaktadır ve en az 2 GPS alıcısı gereklidir. Gerçek zamanlı kinematik ölçme, yüksek doğruluklu DGPS olarak adlandırılmaktadır.

2.3. Verim Görüntüleme ve Haritalama Sistemleri

Yetiştiricilerin karşılaştıkları en büyük sorun, çeşitli faktörlere bağlı olarak ürün veriminin veya ekonomik getirisinin azalmasıdır. Bu nedenle rekabetçi bir pazarda bunun üstesinden gelebilmek için, yetiştirdikleri ürün hakkında herşeyi 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 değişkenliğin 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 (çarpma plakalı) sensör-(buğday,mısır gibi taneli ürünlerde)
- Hacimsel esaslı (optic) sensör-(buğday,mısır gibi taneli ürünlerde)
- Konveyöre bağlı yük sensörü-(patates, havuç, şekerpancarı gibi ürünlerde)
- Tarım arabası yük sensörü-(pamuk,üzüm, domates gibi ürünlerde)
- Moment dönüştürücüler-(domateste)

En yaygın kullanılan verim görüntüleme ve haritalama sistemi, biçerdöverlerle tahıl hasadında kullanılan sistemdir. Biçerdöverlerde kullanılan verim görüntüleme ve haritalama sisteminin bileşenleri şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Biçerdöver verim ölçüm ve kayıt sistemi (1. Veri kayıt cihazı ve iş genişliği ayar rölesi, 2. Tabla kesme anahtarı, 3. Hız sensörü, 4. Eğim ölçer, 5. Verim sensörü, 6. Nem sensörü (opsiyonel)) (Türker ve Güçdemir, 2004)

2.4. Toprak Örnekleme

Geleneksel tarım sisteminde çiftçiler, tarladan tesadüfi olarak toprak örnekleri almakta ve analiz sonuçlarına ait ortalama değerlerden yararlanmaktadırlar. Tüm tarla bu ortalama değerler esas alınarak işleme tabi tutulmakta ve sadece tek bir norma (orana) göre uygulama yapılmaktadır. Hassas tarım tekniğinde ise, tarlanın değişik yerlerinden düzenli bir biçimde örnekler alınmakta ve analiz sonuçlarına göre norm değiştirilebilmekte veya sadece girdi ihtiyacı duyulan yere ve gerekli miktarda uygulanmaktadır. Bu örneklemelelerde toprağın verimliliği, fiziksel ve kimyasal koşulları ile sulama-drenaj durumları değerlendirilmektedir. Optimum bitki gelişimi için, toprağın değişik düzeylerde bitki besin elementlerine sahip olması gerekmektedir. Ürün gelişimini etkileyen bu elementlerin düzeyinin belirlenmesi amacıyla toprak analizleri yapılmaktadır. Bu analizlere göre toprağın ihtiyacı değişken oranlı uygulamalarla karşılanabilmektedir. Hassas tarımda esas olan, eksikliğin olduğu yerleri tespit ederek doğrudan ilgili yerdeki eksikliği gidermektir.

Toprağın bünyesi, agregat özelliği, toprak derinliği, organik madde içeriği, eğim ve arazi yapısı; hassas uygulamalı tarımda özellikle göz önüne alınmalıdır. Toprağa uygulanan sıkışma ve toprak işleme yöntemleri de, aynı şekilde bitki büyümesi ve verime etki eden faktörlerdir. Toprağın organik madde içeriği ve bu içeriğinin yükseltilmesi yönündeki uygulamalar da hassas tarımın konuları arasındadır.

Hassas tarımda toprak örneklemesinde uygulanan üç yöntem vardır. Bunlar,

1. Izgara tipi örnekleme,
2. Toprak tipine bağlı örnekleme,
3. Hareketli duyarga yöntemidir.

Izgara tipi örnekleme yöntemi, tarlayı kare veya dikdörtgen şekilli küçük parsellere bölme esasına dayanmaktadır. Her bir parselin alanı 0,4-1,0 ha arasında değişebilmektedir. Burada her parselden birkaç örnek alınmakta ve analiz edilmektedir. Uygulamada ızgara merkezli ve ızgara hücreli olmak üzere iki tip örnekleme yöntemi kullanılmaktadır..

Izgara merkezli yöntemde örnekler her bir hücrenin merkezinden alınmakta ve hücrenin merkezini belirlemek için DGPS'den yararlanılmaktadır. Toprak örnekleri hücre merkezinin çevresinde yaklaşık 2-3 m çapındaki bir çember içerisinde 7-10 noktadan alınmaktadır.

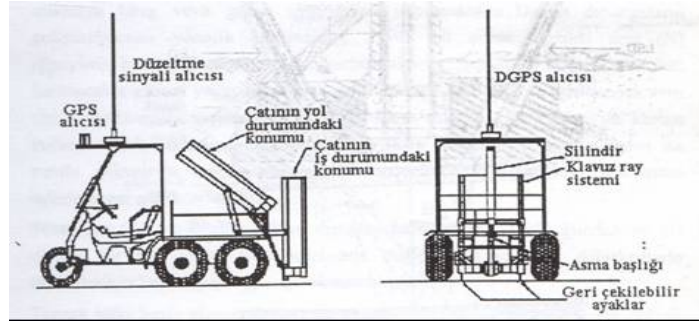
Izgara hücreli yöntemde ise tarla küçük hücrelere bölünmekte, her bir hücre için hücrenin içinden tesadüfi olarak seçilen yerlerden örnekler alınarak hücrenin tamamını temsil eden ortalama örnek elde edilmektedir. Toprak tipine bağlı ızgara örnekleme yönteminde tarla, toprak tiplerine göre bölümlere ayrılmakta ve benzer toprak tiplerine sahip tarla bölümleri örneklenerek toprak haritası elde edilmektedir.

Hareketli duyarga yönteminde toprak özelliklerini ve bunların değişimini ölçmenin en iyi yolu tarlada hareket halindeyken, ilgili özelliği bilgisayara aktaran ve analiz eden bir duyarga kullanılmaktadır. Mümkün olduğu takdirde, toprak özelliklerine ait ölçülen verilerden hareket edilerek gübreleme normu belirlenmektedir. Veriler

gübre uygulama normunu ayarlayan değişken düzeyli gübre dağıtıcısının kontrol birimine aktararak uygulama yapılmaktadır. Bu uygulamanın yararı, ölçüm ile uygulamayı birleştirerek tek bir işlemdedir.

2.4.1. Toprak Örnekleme Ekipmanları

Hassas uygulamalı tarım, uzaktan algılamayla belirlenemeyen toprak özelliklerindeki değişkenliğin belirlenmesi amacıyla, tarım arazilerinden çok sayıda örnek alınmasını gerektirmektedir. Bu sayı büyük arazilerde yüzlerle ifade edilmektedir. Bu kadar örneğin insangücü kullanılarak alınması zor ve zaman alıcı olduğu için, otomatik toprak örnekleme makinaları geliştirilmiştir. Otomatik olarak çalışan ve DGPS sistemiyle donatılmış bir araç, üzerinde bulunan hidrolik esaslı bir sondayı toprağa daldırmakta ve istenilen derinlikten aldığı toprağı etiketlendirmektedir (Şekil 7). Bu tip araçların kullanılmasıyla toprak örnekleme işlemi daha kısa sürede ve standard olarak gerçekleştirilebilmektedir.

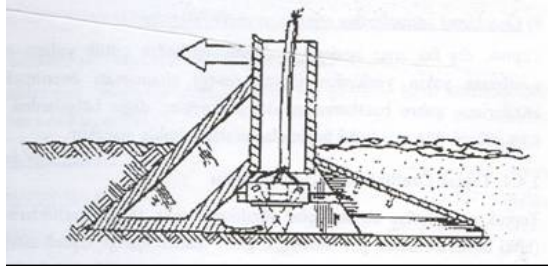


Şekil 7. DGPS ile donatılmış otomatik toprak örneği alma aracı (Tyndale ve ark.,1998)

2.4.2. Hassas Uygulamalı Tarımda Toprak Özelliklerinin Belirlenmesi

2.4.2.1. Organik madde miktarının belirlenmesi

Bu amaçla bir ölçüm duyargası geliştirilmiştir. Bu duyarga fotometre yöntemiyle çalışmaktadır. Algılayıcı en az bir ışık kaynağı ve bir ışık alıcısından oluşmaktadır. Işık kaynağı toprağı ışık göndermekte ve algılayıcı topraktan yansıyan ışığı almaktadır. Koyu renkli topraklar daha fazla organik maddeye sahip olduklarından, açık renkli topraklara göre ışığı daha az yansıtmaktadırlar. Bu yansıtma ilişkisi kullanılarak organik madde düzeyi ölçülmektedir. Shonk ve ark. (1991) tarafından geliştirilen algılayıcı sistem, belirli sayıda LED (ışık yayıcı diyotlar) ve bir ışık algılayıcısından (fotodiyot) oluşmaktadır. Yapılan denemeler, sistemin başarılı bir şekilde topraktaki organik madde miktarını belirleyebildiğini göstermiştir. Sistemin toprak içerisindeki çalışma durumu Şekil 8' de görülmektedir. Hem laboratuvar hem de arazi denemeleri sonucunda yansıyan ışık ve organik madde içeriği arasında oldukça sıkı bir ilişki olduğundan ($R^2 = 0.96$) sistemin toprak organik madde içeriğinin ölçümünde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak organik madde içeriğinin %6'dan fazla olması durumunda sistemin uygun olmadığı bildirilmektedir.



Şekil 8. Organik madde algılayıcısının toprak içerisindeki çalışma durumu (Shonk ve ark.,1991)

2.4.2.2. Toprağın pH düzeyi ve bitki besin elementleri

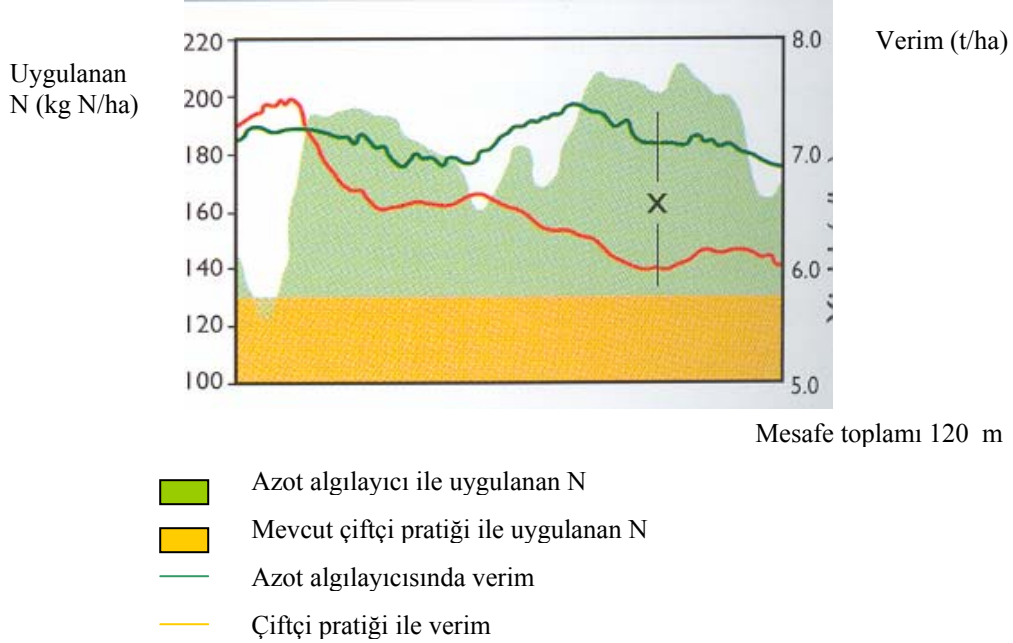
Hassas uygulamalı tarımın ticari uygulaması, verim görüntüleme ve değişken düzeyli gübreleme üzerinde yoğunluk kazanmıştır. Verim görüntüleme sistemlerinin ticari hale gelip yaygın bir şekilde kullanılmasına karşılık (özellikle biçerdöverlerle hasatta), toprak bitki besin elementleri ve pH ölçümünde kullanılan algılayıcıların çoğunluğu henüz geliştirilme aşamasındadır.

Harita esaslı değişken düzeyli uygulamada, toprak örnekleri toprak analiz laboratuvarına götürülmekte ve bitki besin elementleri ile pH analizi yapılmaktadır. Elde edilen verilerden, pH ve bitki besin elementleri için haritalar oluşturulmaktadır. Bu haritaların GIS kullanılarak analizleri yapılmakta ve uygulama haritaları elde edilmektedir. Harita esaslı sistemin tersine algılayıcı esaslı sistemlerde ise değişken (pH veya bitki besin elementi) anında ölçülmekte ve ölçülen değere göre eş zamanlı olarak değişken oranlı gübre yada kireç uygulaması yapılabilmektedir. Uygun algılayıcıların geliştirilmesine yönelik çalışmaların büyük bir kısmı, toprakta azot (N) düzeyinin belirlenmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bunun en önemli nedeni ise topraktaki azotun yağış ve sulama suyuyla taşınabilir özellik göstermesi ve kullanılmadan yıkanan azotun yeraltı veya yüzey sularını kirletmesidir. Diğer bir neden ise azotlu gübrelerin uygulanmasından hemen önce toprağın azot miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun anında gerçekleştirilebilmesi amacıyla geliştirilen algılayıcı, üründen yansıyan ışığı algılamakta ve kalibre edilmiş değerlerden optimum azot miktarını belirlemektedir. Işık yansıma değerinden ürünün gereksinimi olan azot miktarı belirlenerek, değişken oranlı azot uygulaması eş zamanlı olarak yapılabilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Traktöre monte edilmiş azot algılayıcı ve aynı anda gübreleme yapabilen sistem (Anonymous, 1998)

Çiftçilerin mevcut uygulamaları ile hassas tarımda kullanılan değişken oranlı azot gübrelemesi yapan sistem, uygulama oranları ve elde edilen verimler yönünden karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmanın sonuçları Şekil 10'da görülmektedir.



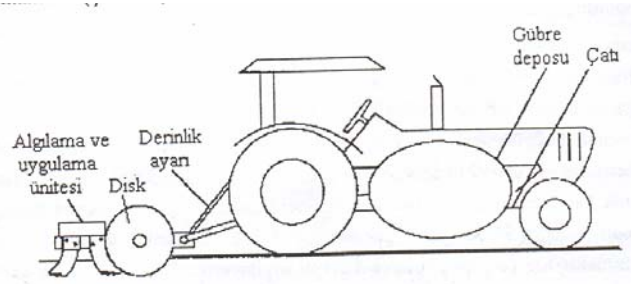
Şekil 10. Hassas tarımda kullanılan azot algılama sistemi ile mevcut çiftçi uygulamalarının karşılaştırılması (Anonymous, 1998)

Toprak pH'sının ölçülmesinde, düz yüzeyli bir elektrot kullanılmaktadır. Algılayıcı olarak kullanılan bu elektrottan elde edilen sinyal ile pH düzeyi arasında ilişki kurularak kalibrasyon denklemi elde edilmektedir. Bu denklem yardımıyla toprağın pH düzeyi tahmin edilmektedir.

Toprağın içerdiği bitki besin elementlerinin ve pH düzeyinin ölçülmesi amacıyla değişik algılayıcılar geliştirilmiştir. Bu algılayıcıların çalışma prensipleri aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

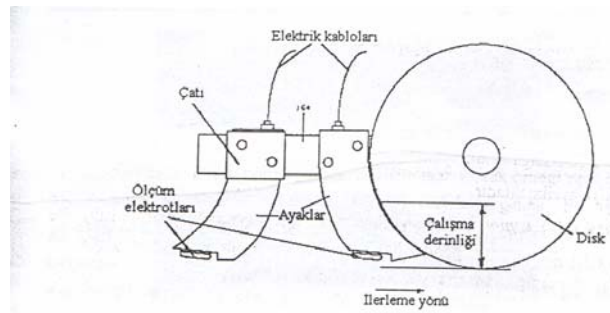
- İyon seçici elektrot (ISE),
- İyon seçici alan etkili transistör yöntemi (ISFET),
- Gama ışını yansıtma,
- Kızıl ötesi ışın yansıtma,
- Elektriksel direnç.

Son yıllarda ABD'de geliştirilen bir sistemle, herhangi bir çözücüye gerek duymaksızın hareketli durumdayken sürekli olarak toprak özelliklerini belirleyip gerekli miktarda gübreyi toprağa verebilen makineler geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Ölçüm ve kontrollü uygulama sisteminin traktöre bağlı durumu (Kirişçi ve ark., 1999)

Şekil 11’de görülen sistem, değişik algılayıcılar, bir veri görüntüleme düzeni ve elde edilen verilere göre gübre miktarını ayarlayan bir kontrol düzeninden oluşmaktadır. Burada yer alan ölçüm ve kontrol sistemi şekil 12’de görülmektedir.

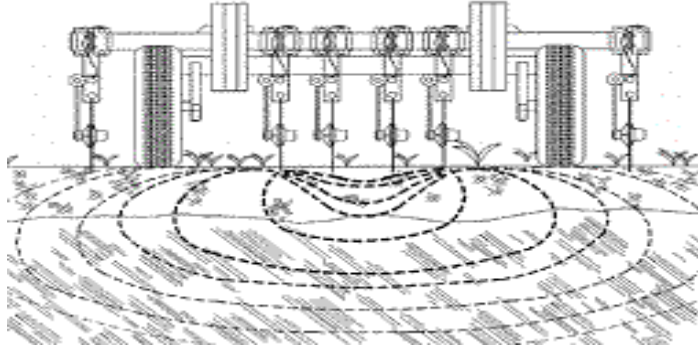


Şekil 12. Ölçüm ve kontrol sistemi (Kirişçi ve ark.,1999).

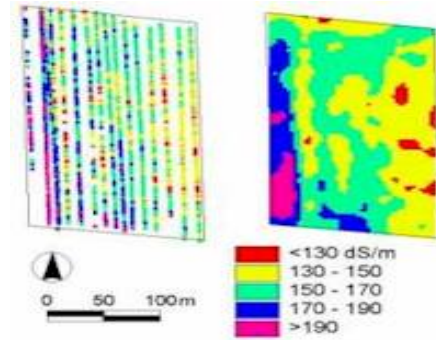
2.4.2.3. Elektriksel iletkenlikten yararlanma

Toprağa yerleştirilmiş iki elektrot arasında iletilen yük miktarı, topraktaki tuz iyonlarının konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Topraktaki tuz konsantrasyonunun artışı, elektriksel iletkenliği (EC) artırmaktadır. Elektriksel iletkenliği belirlemede kullanılan teknolojiler, toprağın ilettiği elektriksel yükleri kaydederek toprağın EC haritasını hazırlayabilmektedirler. Bu değerler arazide yapılan ölçümlerde bir toprak iletkenlik ölçeriyle elde edilebilmektedir.

Bir EC haritalama sisteminde, bir çatı etrafında dizilen bir dizi disk kullanılarak elektriksel sinyaller toprak profiline iletilmektedir (Şekil 13). Bunların çiftler halinde dizilmeleri, EC okumalarının 0-30 cm ve 0-90 cm gibi iki farklı derinlikte yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu ünitenin GPS bağlantısı sağlandığında EC haritası arazi üzerinde sistem çalıştırılırken yapılabilmektedir. EC haritalama sistemi tarlada 10-15 km/h hızlarda çekilebilmektedir (Şekil 14).



Şekil 13. EC haritalama düzeni (Anonymous, 2004 b)



Şekil 14. EC haritalama sisteminin arazide çalışması ve elde edilen EC haritası (Anonymous, 2004 b)

2.4.2.4 Nem içeriğinin algılanması

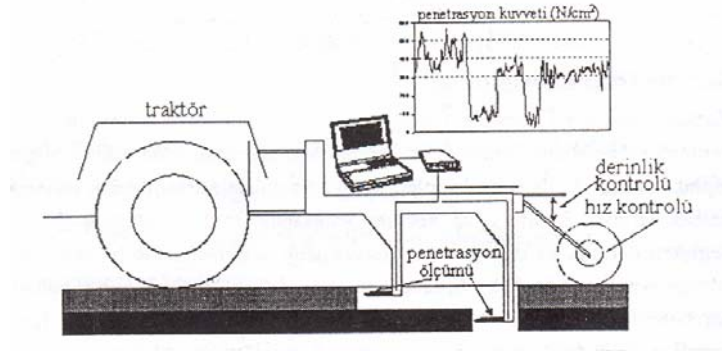
Hassas tarımda değişken düzeyli nem kontrolünde kullanılabilecek bir algılayıcının sürekli ölçüm yapma özelliğinde olması gerekmektedir. Nem içeriğinin belirlenmesinde kullanılan teknikler,

- Toprağa temas ederek çalışan (yakın kızılötesi ışık yansıtımlı veya mikrodalga esaslı)
- Temas etmeden çalışan (elektriksel direnç veya kapasite ölçme esaslı)

olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar.

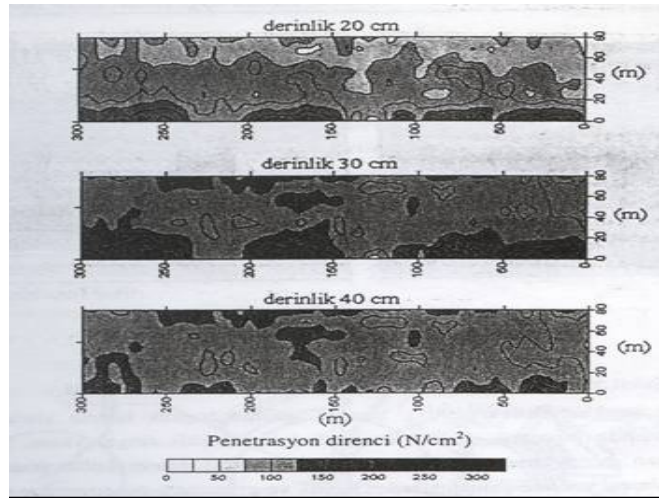
2.4.2.5. Toprak sıkışmasının ölçülmesi

Toprak sıkışmasının ölçülmesinde penetrometreler kullanılmaktadır. Son yıllarda toprak sıkışmasının sürekli olarak ölçülmesinde kullanılabilecek (yatay) penetrometreler de geliştirilmiştir. Bu penetrometre kullanılarak farklı derinliklerden sürekli okuma yapılabilmektedir. Bu tip bir penetrometrenin ana elemanlarını çatı, penetrasyon kuvveti algılayıcısı, hız kontrolü ve derinlik algılayıcısı oluşturmaktadır (Şekil 15).



Şekil 15. Yatay penetrometre ve bileşenleri (Weisbach ve Wilde, 1997)

Bu sistemde penetrasyon kuvveti, hız ve derinlik bilgileri ölçülerek bilgisayara aktarılmaktadır. Daha sonra bu veriler kullanılarak toprak sıkışması üç farklı derinlikte haritalanmaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. Penetrasyon direnci haritası (Weisbach ve Wilde, 1997)

Penetrasyon direnci haritaları yardımıyla tarlanın hangi bölgelerine ne kadar derinlikte toprak işleme yapılması gerektiği belirlenebilmektedir. Bu tip bir haritada koyu renkli olan bölgeler toprak sıkışmasının yüksek olduğunu gösteren kısımlardır. Sadece sıkışmanın fazla olduğu bölgeye derin toprak işleme yapılmasıyla, tüm tarlanın derinden işlenmesinin önüne geçilmiş olmaktadır. Böylelikle daha az enerji harcandığı gibi, sadece belirli bir bölgenin işlenmesiyle yeniden toprak sıkışmasına meydan verilmemiş olmaktadır. Hassas uygulamalı tarımda, toprak koşullarına göre işleme yapılmasının en önemli yolu, toprak işleme derinliğinin ve yapılan işlemin niteliğinin kontrol edilmesidir.

2.5. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, farklı amaçlı yerel ve zamansal değişimler üzerinde değerlendirmeler yapmak üzere; fiziksel temas olmaksızın nesnelerin durumunu görüntüleme ve değerlendirme olarak tanımlanabilmektedir. Uzaktan algılama hassas tarım için önemli bir işletmecilik aracı olma özelliğine sahiptir. Bu yöntemin

kullanılması topraktaki bitki besin elementleri düzeyini, bitkilerin durumunu ve yabancı ot ile hastalık-zararlı durumunu görsel olarak değerlendirmeyi mümkün kılabilir. Günümüzde uydu veya uçaklar sayesinde oldukça yüksekten görüntüleme yapmak mümkün olabilmektedir.

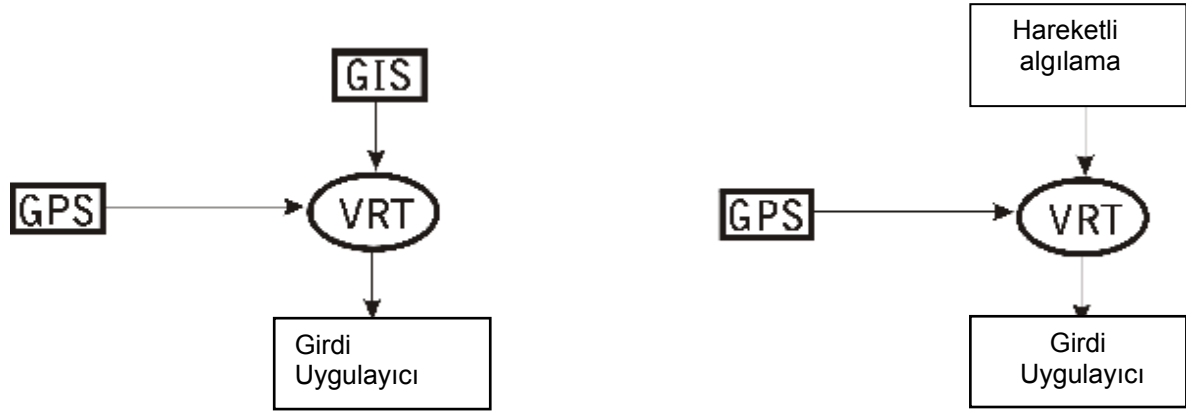
Bitkiyle fiziksel temasın zor olduğu veya bitkiye zarar verme durumunun söz konusu olduğu durumlarda bitkilerin uzaktan algılanabilmesi, geniş alanların görüntüsünün hızlı ve tekrarlanabilir bir şekilde daha az işgücüyle elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu bilgiler tüm yetiştirme periyodu boyunca kullanılabilirlerinden, geleneksel tarla gözlemlerine iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Uzaktan algılamanın tarımdaki kullanım alanları, ürünlerin yetiştirme alanlarının belirlenmesi, kızılotesi görüntüleriyle bitki durumunun incelenmesi, bitki besin maddeleri durumunun tahmini, verim tahmini ile hastalık, zararlı veya direnç durumunun tespiti konularında mümkün olabilmektedir.

3. VERİ İŞLEME VE HARİTALAMA

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 elementi düzeyleri ve pH gibi tarla ve bitkiye ait özellikleri içerebilmektedir. Verimin 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 İno ve Arc View'dir.

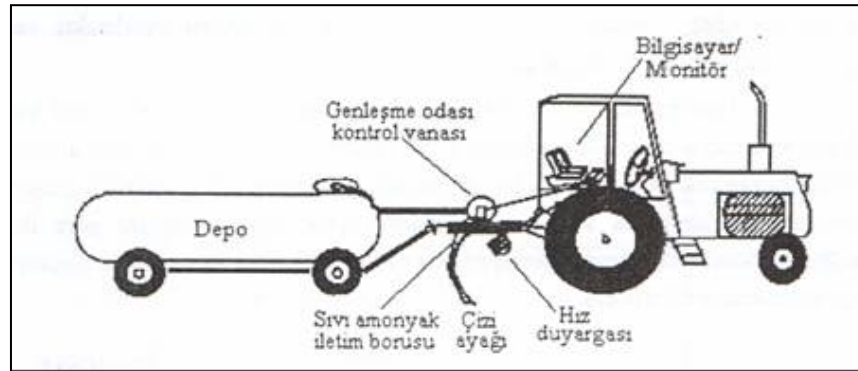
4. DEĞİŞKEN ORANLI UYGULAMA

Değişken oranlı uygulama teknolojisi (VRT), gübre, tohum ve ilaç gibi girdileri değişken oranlarda tarlaya verebilmek için bilgisayarlı kontrol ünitesi ve ilişkili donanımı içeren bir yapıdadır. Burada kontrol ünitesi hafızasına uygulama haritası yerleştirilerek, bağlantı halinde olduğu GPS yardımıyla tarladaki pozisyona göre donanım kontrol edilmekte ve girdi değişken oranlarda uygulanmaktadır. Şekil 17'de değişken oranlı sistemin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 17. Değişken oranlı sistemin bileşenleri (Kuhar,1997)

Değişken oranlı uygulamaya bir örnek oluşturan gaz halindeki amonyağın değişik oranlarda toprağa uygulanmasına ait bir sistem şekil 18’ de verilmiştir. Burada depodan gaz halinde genişleme odasına gelen amonyak, basıncın düşmesi nedeniyle sıvı hale gelmekte ve sonra akış ölçüm algılayıcısına ve ardından da akış miktarı kontrol vanasına gitmektedir. Daha sonra çizici ayak aracılığıyla kayıpları önlemek için toprak içine bırakılmaktadır. Araştırma sonucuna göre, sistemin başarıyla kullanılabileceği bu tip uygulamayla gübre miktarındaki azalma 3\$/ha-9\$/ha arasında değişmektedir.



Şekil.18. Değişken oranlı gaz amonyak uygulayıcısının bileşenleri (Robert ve ark.,1991)

5. HASSAS TARIMIN EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ

Hassas tarımın teknolojik gelişiminde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Oldukça çok ve kapsamlı bir veri elde etme süreci başlamış ve bu süreç sonunda verilerin analizi ile bu analiz sonuçlarına göre de işletmecilik kararlarının verilmesi noktasına gelinmiştir. Bu noktada çiftçilerin üzerinde durdukları ve uzmanlara sordukları konu, hassas uygulamalı tarım teknolojisinin ekonomikliği ve karlılığı ne yönde etkilediği şeklindedir.

Hassas tarım uygulamalarının ekonomikliğine etkili olan çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bunlardan bazıları;

- Üzerinde üretim yapılan alanın büyüklüğü,
- Üretim deseni,
- Hali hazırda işletmenin mevcut sorunları,

- Teknoloji yoğun uygulamalara adaptasyon şeklinde sıralanabilmektedir.

Hassas uygulamalı tarım teknolojisine ilişkin gider yükü, kullanılması düşünülen araçlara ve bu araçların özelliklerine göre değişmektedir. Geçiş düzeyinin belirlenmesine de bağlı olarak, gider düzeyini etkileyen bazı düzenlemeler şu şekilde sıralanabilir:

- Toprak örneklemesinin hangi yoğunlukta ve hangi yolla yapılacağı,
- Uygulamalarda gereksinim duyulan doğruluk düzeyi (Bu sayede DGPS özellikleri ortaya konmuş olacaktır. Basit bir DGPS'in bedeli yaklaşık olarak \$ 3000'dir. Santimetrelerle ifade edilen düzeyde hassasiyet için bu değer \$ 6000 – 7000' e çıkmaktadır),
- Hata düzeltme sinyalinin nereden alınacağı,
- Değişken oranlı uygulamaların hangi girdiler (herbisit, tohum, gübre) için kullanılacağı ve hangi yolla elde edileceği.

Konunun ekonomikliğine ilişkin elde edilen en somut sonuca göre yapılacak yatırımı ivmelendiren öncelikli görüşün, “ etkinliğin artırılması yoluyla uzun periyotta kârlılık elde edilmesi olanağı” olduğu belirtilmektedir. Hassas uygulamalı tarım teknolojisinin kârlılığına ilişkin çok somut değerlendirmeler, değişik özellikte ve hassas uygulamalı tarım teknolojisini değişik düzeyde uygulayan işletmeler üzerinde çalışmalar yürütülerek ortaya çıkarılabilecektir.

Konunun ilk geliştiği ve halen de öncü durumundaki ABD'deki örnekler incelenerek, ekonomik sonuçları üzerinde durulacaktır. Bu amaçla, 1997 yılında araştırma projesi için 365 ha büyüklüğe sahip Moreton Çiftliği ile 1999 yılında darı ekimi yapılan 557,5 ha'lık alana sahip olan Mississippi Bölgesi yakınlarında bulunan Belmont'taki Mount Level Çiftliği ele alınmıştır (www.fse.missouri.edu/mpac/projects, 1999). Tablo 1.1 Moreton Çiftliğinde ve tablo 1.2 ise Mount Level Çiftliğinde hassas tarım ile alışlagelmiş tarım teknolojilerinin ekonomik yönden karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 1.1. 1998 yılında Moreton Çiftliğinde mısır tarımında elde edilen verim ve kireçleme giderlerinin alışlagelmiş ve hassas tarım teknolojilerine göre karşılaştırılması (www.fse.missouri.edu/mpac/projects, 1999)

GÜBRE GİRDİSİ	Alışlagelmiş yaklaşım		Hassas tarım yaklaşımı	
	Maliyet (\$/ha)	Miktar (kg/ha)	Maliyet (\$/ha)	Miktar (kg/ha)
Kireç (Kırmızı)	95,35	6000	36,2	2250
Nitrojen	59,55	113,5	59,9	113,5
Fosfat	49,68	112,4	51,6	115,8
Potasyum	33,93	113,5	39	136,2
Sülfür	7,5	17	7,5	17
Çinko	0	0	16,8	8
Bor	2,05	0.227	1,1	0,16
Toplam girdi (\$/ha)	248.1	-	212,1	-
Gübre Dağıtma (\$/ha)	9,4	-	21,25	-
Örnekleme (\$/ha)	1,85	-	16,25	-
Genel toplam (\$/ha)	259,35	-	249,6	-
DÖNÜŞÜM	Hassas Tarım Uygulandığında Ha Başına \$ 9,75 kar			

Tablo 1.2. 1999 yılında Mount Level Çiftliğinde darı tarımında gübre maliyetinin hassas tarım ve alışlagelmiş tarım yaklaşımı için karşılaştırılması (www.fse.missouri.edu/mpac/projects, 1999).

GÜBRE GİRDİSİ	Alışlagelmiş yaklaşım		Hassas tarım yaklaşımı	
	Maliyet (\$/ha)	Miktar (kg/ha)	Maliyet (\$/ha)	Miktar (kg/ha)
Nitrojen	34,15	57,9	41,7	57,9
Fosfat	26,43	54,8	23	51
Potasyum	33	112,3	31	105,6
Sülfür	7,8	17,7	5,6	12,7
Çinko	0	0	0,13	0,12
Bor	8,05	1,1	3,03	0,45
Toplam girdi (\$/ha)	109,43	-	104,5	-
Gübre dağıtma (\$/ha)	10,00	-	18,75	-
Örnekleme (\$/ha)	0,3	-	13,75	-
Genel toplam (\$/ha)	119,73	-	137	-
DÖNÜŞÜM	Hassas Tarım Uygulandığında Ha Başına \$17,27 Zarar			

Tablo 1.1 ve 1.2 değerleri göz önüne alındığında, belirtilen uygulamalar için Moreton Çiftliğinde karlı olan hassas tarım uygulaması Mount Level Çiftliğinde karlı görülmemektedir. Bu da göstermektedir ki, her arazi ve her işlem farklı özelliklere sahip olduğundan; hassas tarımın kullanılmasıyla farklı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Yukarıdaki örnekler her arazi ya da işlem için geçerli değildir. Bu nedenle her arazinin ayrı ele alınması gereklidir. Bütün bu sonuçlar, hassas tarımın en önemli yönünün, "alana özgü (site specific)" olduğunu ortaya koymaktadır.

6. SONUÇ

Hassas tarım, tarımda yeni bir teknolojik devrim olarak hızlı bir gelişim süreci göstermektedir. Bu alandaki uygulamalara, başta gelişmiş ülkeler olmak üzere; tarımda gelişmekte olan pek çok ülkede rastlanabilmektedir. Örneğin ABD'de hassas tarım uygulamalarında kullanılan verim görüntüleme sistemi 1995'de 2000 adet biçerdöverde yer almaktayken, bu sayı 1996'da 9000 adede yükselmiştir (Anonymous, 1997).

Şunu da açıkça vurgulamak gerekir ki, hassas tarımın uygulanmasındaki en temel koşul; karlılığı sağlayacak yeterli arazi büyüklüğünün mevcut olmasıdır. Bu durum ülkemiz tarım sektörünün en önemli sorunlarından birisidir. Ayrıca hassas tarımdan beklenen yararın sağlanabilmesi için, öncelikle arazide karşılaşılabilen

sulama, drenaj, tesviye vb sorunların çözümlenmiş olması gerekmektedir. Böylece arazideki değişkenliğin daha sağlıklı olarak algılanması ve girdi uygulamasının da buna göre yapılması mümkün olabilmektedir.

Hassas tarım teknolojileri, modern dünyanın pek çok alanda yararlandığı teknolojilerdir. Tarımda bu tip teknolojilerin yaygınlaşması, bilgi yoğun üretime doğru bir gidiş sağlayacaktır. Bu yolla, tarımla uğraşanların eğitim, gelir düzeyleri ve yaşam standartları yükseltilebilecektir.

Çevre kirliliği ve çevre koruma gibi kavramların çok önem taşıdığı günümüz dünyasında hassas tarım, özellikle azaltılmış girdi uygulamalarına olanak vermesinden dolayı; çevreye saygılı ve sürdürülebilir tarımsal üretimi destekleyen en önemli olgudur. Bu nedenle ülkemiz de dahil olmak üzere, duyarlı tüm ülkelerde hassas tarım konusundaki araştırma, yayın ve alt yapı çalışmalarının desteklenmesi önem taşımaktadır.

7. KAYNAKLAR

Anonymous, 1997. Precision Agriculture in the 21st Century. National Research Council, Washington.

Anonymous, 1998. Precise a Sixth Sense for Agriculture. Hydro Agri Precise Introduction and Research Catalog. Lincolnshire, UK.

Anonymous. 2004 a. www.koeri.boun.edu.tr/jeodezi/bilgi/GPS-burkade-pdf.

Anonymous, 2004 b. www.veris.com.

Blackmore, S., 1994. Precision Farming; An Introduction. Outlook on Agriculture. Vol.23, No 4, 275-280.

Blackmore, S., 1996. An Information System for Precision Agriculture. Brighton Conference Pests and Diseases. November 18-21.

Kirişçi, V., Keskin, M., Say, S ve Keskin, S., 1999. Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojisi. Nobel Yayıncılık, 1. baskı, Adana.

Kuhar, J., 1997. The Precision Farming Guide for Agriculturists. . Deere&company, ISBN 0-86691-245-2, USA.

Robert, P.C., Thompson, W.H. ve Fairchild, D., 1991. Soil Specific Anhydrous Ammonia Management System. Automated Agriculture for the 21st century Proceedings of the 1991 Symposium: 419-426, Chicago.

Shonk,J.L.,Gaultney, L.D., Schulze, D.G. ve Van Scoyoc, G.E., 1991. Spectroscopic Sensing of Soil Organic Matter Content. Tarnsaction of the ASAE, 34(5):1978-1984.

Stafford, J. V., 2000. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. J. Agric. Engng. Res. 76: 267-275.

Türker, U., 2001. Hassas Tarım Tekniđi. Türk-Koop Ekin, 16:100-106.

Türker,U. ve Güçdemir, İ., 2004. Atatürk Orman Çiftliğinde Nadas-Tahıl Sisteminde Küçük Ölçekli Alansal Değişkenliğin Hassas Tarım Teknolojilerinden Yararlanarak Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 10(3): 305-312.

Tyndale-Biscoe,J.P., Moore, G.A. ve Wetern, A.W., 1998. A System for Collecting Spatially Variable Terrain Data. Computer and Electronics in Agriculture,19:113-128.

Weisbach, M. ve Wilde, T., 1997. The Horizontal Penetrograph-Big Scale Mapping Device for Soil Compaction. 3rd.International Conference on Soil Dynamics, Israel.

www.fse.missouri.edu/mpac/projects, (1999)