

Mohamed Shariff, Abdul Rashid. 2006. Section 6.5 Geographical Information Systems, pp. 414-424 of Chapter 6 Management and Decision Support Systems, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers.

Çevirmen: Mürsel ÖNDER

Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN

6.5 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Yazar: A. R. Mohamed Shariff

Çevirmen: Mürsel ÖNDER

Özet: Veri analizi, tarımın verimliliğini arttırmaya yarayan önemli bir ögesidir. Tarımsal enformasyonun coğrafi yapısı gereği, öznel verilerinin yanında konumsal verilerin de hesaba katılması gerekir. Mekansal ya da coğrafi bilgi sistemleri; mekânsal ve coğrafi veri kümelerini toplama, depolama, geliştirme ve analiz etmek için kullanılan sistemlerdir. Böylece bir CBS, konuma bağlı tarımsal sorunların birçoğunu çözmek için kullanılır. Bu bölüm CBS'nin genel bir değerlendirmesini yaptıktan sonra tarımda CBS kullanımıyla ilgili üç özgün örnek sunmaktadır: (1) "durian plantasyonlarında hastalıklı ya da stresli bitkilerin dağılımı", (2) "çeltiğin hacim ağırlığı dağılımı ve verimle ilişkisi" ve (3) potansiyel balıkçılık alanlarını tanımlamada kullanılan yüksek klorofil a birikiminin olduğu deniz alanlarının belirlenmesidir.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Mekansal bilgi sistemleri (MBS), Tarımsal CBS, Durian plantasyon, Hassas tarım, Tarımda uzaktan algılama, Potansiyel balıkçılık bölgeleri (PBB).

6.5.1 Coğrafi Bilgi Sisteminin Tanımı

Coğrafi bilgi sistemi, coğrafi olarak ilişkilendirilmiş verilerin; toplanması, saklanması, analizi ve ilgili çıktılarının üretilmesi yeteneğine sahiptir. Sistem, bilgisayar tabanlı olmaya ihtiyaç duymaz. Günümüzde kabul gören CBS terimi, büyük mekânsal veri setlerini içeren hesaplama görevlerini mümkün ve pratik hale getiren elektronik hesaplama gücündeki artışla birlikte daha önem kazanmıştır. Bir tarımsal CBS ve Alan Düzeyi Coğrafi Bilgi Sistemi (ADCBS) veya FIS (Field Level Geographic Information System) [1], mekansal olarak üretilmiş tarımsal verilerin; toplanması, depolanması, işlenmesi için kullanılabilir bir sistemdir [2]. Bu tanımda mekansal terimi coğrafi terimine tercih edilmiştir. Bu tercihin nedeni; tarım sektöründeki çevrenin basit coğrafi çevreyle sınırlandırılmaması ve mekansal ifadesi ile daha iyi tarif edilebilen, değirmenler veya diğer tarımsal ürünlerin işlendiği fabrikalar içerisindeki alanları kapsamasıdır. *Mekansal Bilgi Sistemi* (MBS) yerine CBS kullanılması ise anlama kolaylığı içindir.

CBS, pek çok sorunu çözmeye yaraması ve farklı hedef kitlelere hizmet vermesi nedeniyle popülerlik kazanmıştır. İngiliz hükümeti tarafından oluşturulan inceleme komitesi, CBS teknolojisinin mekansal analiz için önemini; bilim için mikroskop ve teleskopun icadı, ekonomi için bilgisayar kullanımı ve basın yayın için matbaanın kullanımının önemiyle aynı olduğunu ifade etmişlerdir [3]. Örnek olarak tarımsal alanda CBS; toprak besin haritalarının oluşturulmasında, değişken oranlı ve verim izleme teknolojileri ile birlikte kullanılabilirdiği gibi entegre zararlı yönetimi sistemlerinde de kullanılmaktadır. Bu sistemlerin bazılarında CBS, GPS ve uzaktan algılama gibi mekansal diğer teknolojiler ile iç içe birlikte kullanılmaktadır.

6.5.2 CBS Modelleri

CBS ile çalışmak için coğrafi nesnelere hakkında iki temel bilgi gerekir: nesnenin geometrik/konum bilgisi, nesnenin özneliği veya onu karakterize etmeyi sağlayan açıklayıcı bilgiler. Konum bilgilerini, öznelik bilgilerine bağlama hizmeti veren özgün bir tanımlayıcı ile bu bilginin iki tipi CBS'ye girdi verisi olarak girilir. CBS'nin planlanması safhasında, tanımlayıcının özgünlüğü kesinleştirilmelidir. Aksi durumda çoklu ve özgün olmayan tanımlayıcılar, doğru olmayan ve yanıltıcı sonuçlar verecektir.

Vektör ve raster model olmak üzere CBS'nin iki önemli türü vardır. Bir *vektör CBS*, gerçek dünya özelliklerini; çokgen, doğru, nokta gibi temel geometrilerle temsil eder. Örneğin, bir plantasyon veya hayvan üretme çiftlikleri gibi alan özellikleri çokgenlerle temsil edilebilir; sulama kanalı veya nehir gibi doğrusal özellikler bir çizgiyle temsil edilebilir; kuyular veya ağaçlar ise noktalarla temsil edilebilir. Böylece bir vektör CBS; noktalar, çizgiler ve coğrafi yüzey alanlarını sadece X ve Y koordinatlarında gösteren grafik veri yapılarını kullanır. Öte yandan bir *raster CBS*; düzgün olarak şekillendirilmiş hücre serileri şeklinde gruplanmış, ayrık alan değerlerini oluşturan grafik veri yapılarını kullanır. Son zamanlarda meydana gelen gelişmeler, vektör ve raster modellerin entegre sistemler içerisine yerleştirilmesidir [4].

6.5.3 CBS Bileşenleri

CBS'nin ana bileşenleri:

- veri girişi ve doğrulama altsistemi,
- veri depolama ve veritabanı yönetimi altsistemi,
- veri dönüşümü ve analiz altsistemi ve
- veri çıktısı ve sunum altsistemidir.

Veri Girişi ve Doğrulama Altsistemi

CBS, hesaplamalarda kendi ana işlemcisi olan merkezi işlem birimi ile çalışır. Veri girişi ve doğrulama altsistemi, veri toplama ve toplanan verileri CBS'ye iletmekte kullanılmaktadır. Bu veriler; basılı kopya haritalar, hava fotoğrafları, uydu

görüntüleri veya farklı ajanslardan alınan hazır sayısal veriler olabilir. Ancak, veri halihazırda yoksa, bu verileri toplamak için alan incelemelerine ve ölçümlerine ihtiyaç vardır. CBS kurulumunda, veri toplama en pahalı ve zaman alıcı etkinliktir. Veri gereksinimlerinin karmaşıklığına gerekli ilginin gösterilmemesi, CBS alanına yeni giren bazılarının yanlış yönlendirilmelerine sebep olabilir.

Veriler; basılı haritalar veya görüntüler şeklinde erişilebilir durumdaysa, sayısal forma dönüştürülmesi gereklidir. Bu amaçla basılı haritalar için sayısallaştırıcı tablolar ve diğer araçlar veya hava fotoğrafları için tarayıcılar kullanılır. Sayısallaştırma tabloların veya tarayıcıların seçimi, eldeki verinin çözünürlüğüne ve veritabanının istenen doğruluğuna bağlıdır [5].

Veri Depolama ve Veritabanı Yönetimi Altsistemi

Veri tipik olarak sabit disklerde ve taşınabilir diğer, CD-ROM, DVD ve flash belleklerde depolanır. Uzun süreli depolama için toprak ve verim verileri gibi durumlarda kayıt aracı ve çevresine dikkat edilmelidir. 1980'lerde Malezya'da uygulanan ve öncü çalışmalardan olan bilgisayar destekli arazi etüd sisteminden (CALS Johor) elde edilen tecrübeler, kontrollü ortamlarda birkaç yıl süreyle saklanan veri kasetlerinin mantar üremesine maruz kalabileceğini göstermiştir. Kaydedilen dosyaların birkaç ayda bir başka depolama araçlarına yeniden kopyalanması ile bu sorunun üstesinden gelinebilir.

Veritabanı yönetim sistemleri; veri kümelerinin depolanması, bütünlüğü ve güvenliğini sağlayan depolama sisteminin yazılım araçlarıdır. Piyasada bu amaçla hazırlanmış yazılımlar bulunmaktadır ve ilişkisel veritabanı modellerinin mevcut kullanımı nesne yönelimli dizaynlara doğru bir eğilim bulunmasına rağmen halen geçerlidir (örneğin, 6.4.3'e bakılabilir).

Veri Dönüşümü ve Analiz Altsistemi

Veriyi farklı formatlara veya farklı gösterimlere ve koordinat sistemlerine dönüştüren bir yazılım modülü, veri dönüşümünü gerçekleştirmektedir. Tarımsal varlıklarla ilgili uygulama çoğunlukla yerel koordinat sistemini kullanıyor olacakken, mevcut değişim, referanslama için Dünya Jeodezik Sistemi'ni (WGS, World Geodetic System) kullanan GPS'le konum belirlemeye doğru olması sebebiyle, veri modülü özellikle daha önemli hale gelmektedir.

Belirli bir işte uygun dönüşüm ve ortak referans sistemine uyumluluk, takibeden mekânsal analizlerdeki hatalardan korunmak için gereklidir. Veri dönüşüm sistemi, kullanıcıya farklı referanslama sistemlerine sahip olabilecek farklı kaynaklardan gelen veriyi, çalıştığı veri kümesine birleştirmesine müsaade ettiği için veri alışverişine de yardımcı olur.

Mekânsal analize ortak bir yaklaşım, üst üste harita yerleştirme yolu kullanılmasıdır. Farklı katmanlardaki mekânsal verilerin üst üste yerleştirilmesi, bu katmanlardaki nesnelere geometrik kesişme süreçlerine imkân verir. Bu analiz,

ilişkisel veri çizelgelerinde depolanan bu geometrilerin, ilgili özellik verilerinin sorgulanma yeteneğiyle daha da genişletilebilir [6]. Ancak, mekânsal analiz sadece üst üste yerleştirme teknikleri ile sınırlı değildir; örneğin, harici istatistiksel yazılım, CBS veri setlerinin sorgulama ve analizi için kullanılabilir.

Veri Çıktısı ve Sunum Altsistemi

Bir CBS çıktısı genellikle bilgisayar monitöründe gösterilir veya basılı kopya olarak yazıcı ve çizicilerden alınır. Arazide kullanılacak çıktı için çizimin yapılacağı materyal tipine özel bir önem verilmesi zorunludur. Zor tarla şartlarında kullanım için dayanıklı malzeme önerilir.

6.5.4 Tarım Uygulamaları için CBS Kullanıcı Arayüzleri

Günümüzde, en az bilgisayar kullanma becerisine sahip çiftçiler için özel tasarlanmış CBS mevcut değildir. Tarlada gerçek CBS uygulamaları için CBS tasarımcıları; kolay kurulan, tak kullana benzer özellikler olan ve kullanıcı kitapçığına atıf yapmada zorluk içermeyen CBS yazılımına ağırlık vermelidir. Çiftçiler için komut satırlarının yerini almış açılan menüler, olumlu kullanıcı arabirimi gelişmeleridir. Bir benzer olumlu uygulama ise, PDA gibi el bilgisayarlarında manüel klavyelerin yerini işaretleme kalemlerinin almasıdır. Çiftçilerde yersiz hayal kırıklıklarına neden olmadan teknolojinin en iyi şekilde kullanılabilmesi için CBS yazılımlarının kullanıcıları ve tasarımcıları arasındaki kültür ve dil ile ilgili hususların dikkate alınması gereklidir. Genel olarak kullanıcı arayüzlerinde bazı ilerlemeler gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, özellikle bir başka durumda bilgisayar kullanmayacak olan çiftçiler başta olmak üzere en uygun kullanıcı arayüzü tasarımıyla ilgili daha ileri gelişmeler ve iyileştirmeler için geniş bir alan bulunmaktadır. Yeni teknolojileri halihazırda kullanan bilgili çiftçiler için de kullanıcı dostu teknolojilerin faydaları olacaktır.

6.5.5 Tarım Sektöründe CBS Uygulamalarına Örnekler

CBS çeşitli tarımsal uygulamalar için kullanımda büyük bir esnekliğe sahiptir. Bu uygulamalardan üçü; “durian” dikiminin yönetimi, pirinç tarlalarının ekimi, potansiyel balıkçılık bölgelerinin tahmini aşağıda kısaca açıklanmıştır.

CBS ile Durian Dikiminin Yönetimi

Durian meyve fidanlıklarının CBS tabanlı yönetimi tanıtılmıştır [7]. Bu sistemde; ırmaklar, yollar, barakalar, durian ağaçları, su depoları gibi yerdeki arazinin fiziksel özelliklerinin konumları etüd edilmekte ve veri tabanında güncellenmekteyken, durian fidanlığının geometrisi ise mevcut arazi kayıt dökümanlarından elde edilmiştir. GPS, pratik olarak kullanılabilirdiği arazi etüd çalışmalarında kullanılmaktadır. Ağaç saçaklarının altı gibi uydu sinyallerinin olmadığı durumlarda, lazer tabanlı minimetre gibi uzaklık ölçüm cihazları ve

şerit metre gibi geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Durian fidanlığını karakterize eden hastalıklar, haşereler, çimenlerin yüksekliği, durian meyve sınıfı ve ağaç başına meyve verimi gibi öznel veriler toplanmıştır. Aynı zamanda, her bir özellik için de farklı öznel belirlenmiştir. Bu geometrik ve öznel verileri CBS yazılımı ile işlenmiştir.

Ağaçlar için özgün adresleme sistemi (özgün tanımlayıcı) kurulmak zorunda kalmıştır. Bu durumda, fidanlık farklı bölgelere ayrılmış ve her bölgeye özgün bir harf atanmıştır. Her bir bölgedeki ağaçlara bir sıra numarası verilmiş ve buldukları sıradaki konumları işaretlenmiştir. Nitekim, W bölgesinde, 5 no'lu sırada yer alan ve sırada işerisinde 7. konumda bulunan bir ağaca W0507 özgün tanımlayıcısı verilmiştir. Bu tanımlayıcıda W, bölgeye özgün bir harftir; 05, 2 dijit genişliğinde sıra numarasıdır ve 07 ise, ağacın sıradaki 2 dijitlik pozisyonu olmak üzere tanımlanmıştır. Bu tanımlayıcı arazideki tanımayı kolaylaştırmak için ağaç üzerine de boya ile yazılmıştır.

Veritabanı tamamlanmasını takiben, fidanlık yönetimine yardımcı olmak için ilgili bazı sorgular gerçekleştirilebilir. Bu sorgulama örnekleri; yüksek verime sahip alanların, hastalık geçmişi olan alanların, yüksek otlu alanların (işçileri bu yerlerde karşılaşmaları muhtemel yılanlar ve diğer doğal tehlikelere karşı uyarma bilgisi), saldırgan karıncalar ile enfekte alanların (işçilerin önceden riskleri tespit edilmiş bu yerlerde yeterli koruyucu adımlar atmasını sağlayacak bilgi) gösterilmesini içerir.

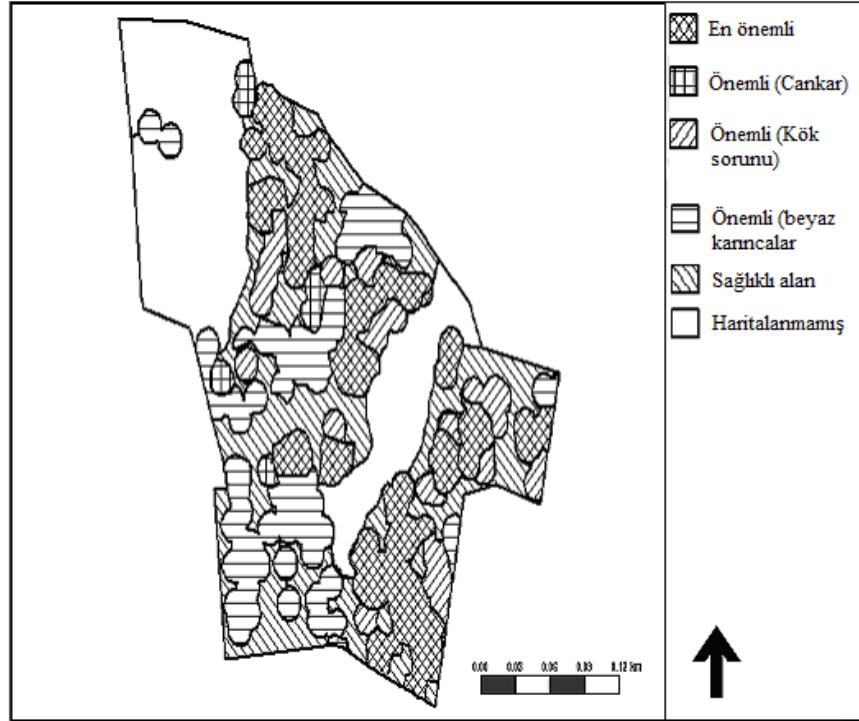
Hastalık haritası Şekil 1'de gösterilmiştir; Güneydoğu ve Kuzeydeki alanların önemli hastalıklara ait geçmişe sahip olduğu görülmektedir. Şekil 2, verim haritasını göstermektedir. Harita etiketleri, 5-10 yıl arasında meyve veren ağaçlarla, 10 yıldan daha fazla meyve veren ağaçları ayırdedebilir. İlginç bir şekilde verim haritası, güneydoğu ve kuzey bölgelerindeki alanların yüksek verime sahip olduğunu da göstermektedir. Hastalıktan kaynaklanan stresten kaynaklanan, ağaçların yüksek verim vermiş olması muhtemel sebebinden dolayı, bu gözlem fidanlık yönetimi için önemli bir bilgidir. Böylece, ağaçlarda hastalık kritik seviyeye ulaşmadan önce fidanlık yönetimi bu bilgiyi uygun iyileştirici bir faaliyet kararı almada kullanabilir.

Pirinç Veriminin Arttırılması için Hassas Tarımda CBS

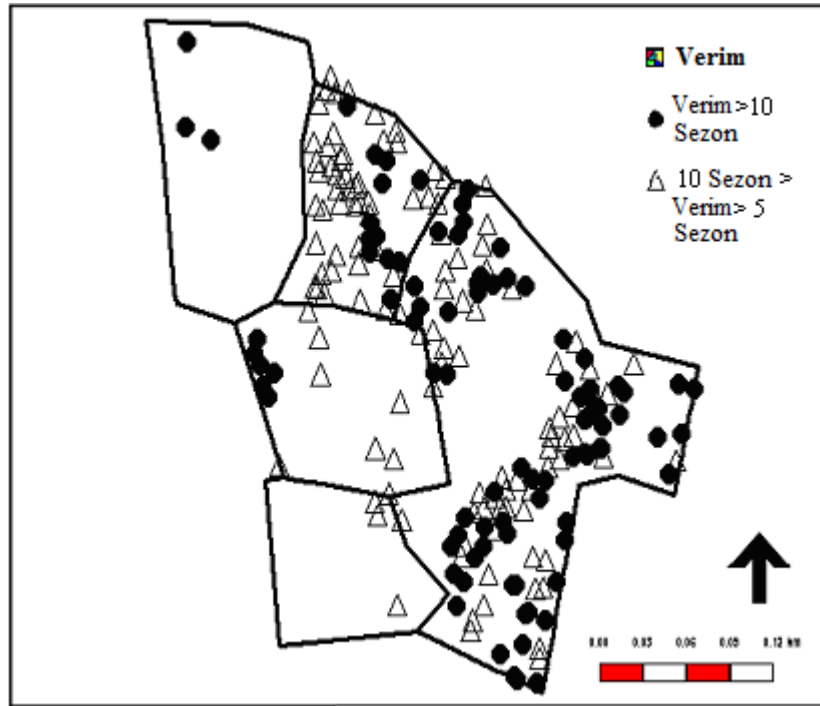
CBS, hassas tarım ve araştırmalarının önemli bir bileşenidir ve ürün verimini arttırmada kullanılabilir. Roy ve ark. [8] çeltik tarlasının toprak ve verim parametrelerini kullanarak mekansal değişimini haritalamıştır ve GPS'den alınan konumsal bilgilerle entegre etmiştir. Leica GPS 500 ile kaydedilen verilerden ızgara nokta konum haritası üretilmiştir. Malezya Etüt ve Haritalama biriminden alınan temel veriler kullanılarak bu verilere düzeltmeler uygulanmıştır.

GPS koordinatlarının orijinal hali WGS84 koordinat referans çerçevesinde kaydedilmiş ve Malezya'da kullanılan haritalama sistemi olan düzeltilmiş eğim ortomorfik (MRSO, Malaysian Rectified Skew Orthomorphic) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Fiziksel toprağın öznel verileri/parametreleri (toprak yığın

yoğunluğu, koni indeksi ve nem) ızgara desende çeltik hasadı sonrası kaydedilmiştir. Bu veriler daha sonra CBS veritabanına girilmiştir.

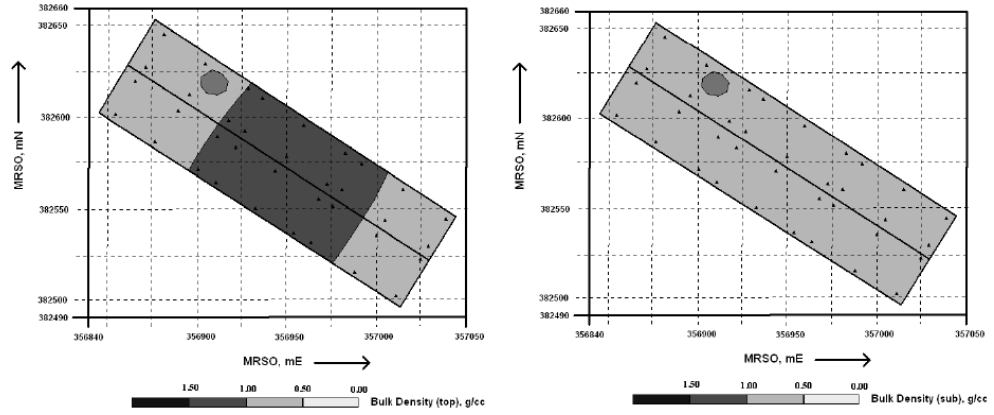


Şekil 1. Genel hastalık haritası.

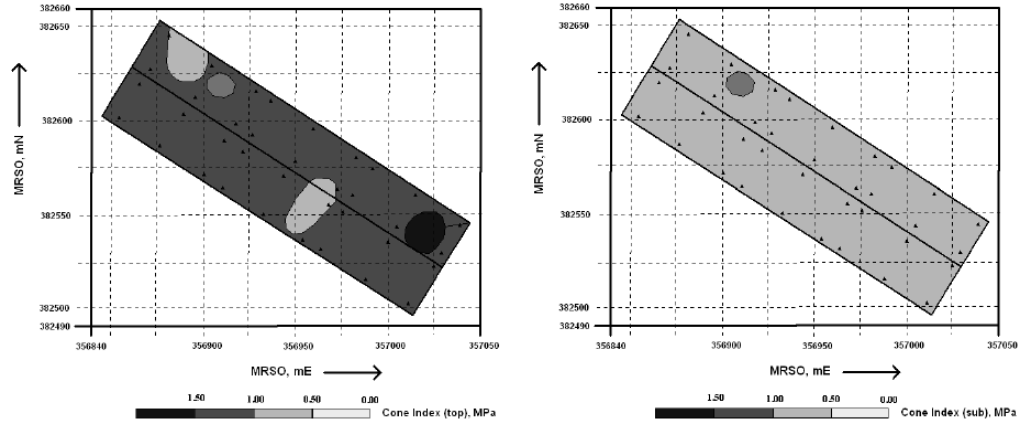


Şekil 2. Durian ağacı başına verim haritası.

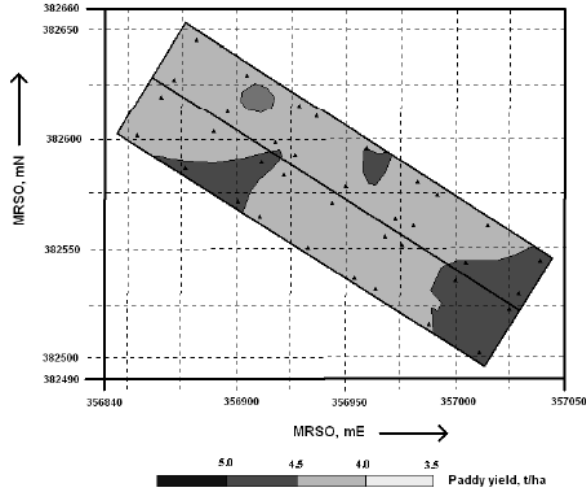
Şekil 3-5 çeltik verimine ölçülen toprak parametrelerinin etkilerinin mekansal analiz sonuçlarını göstermektedir. Bu çalışma, toprak yığın yoğunluğu ve koni indeksinin negatif etkisinin olduğunu ve toprak neminin ise çeltik verimine pozitif etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Mekansal haritalar haritanın orta bölümünde bulunan yerlerin toprağın daha fazla gevşetilmesine ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Bu yüzden, toprağa daha fazla organik madde eklenmesi ve etkin ürün nöbeti kullanımıyla bu problemlerin üstesinden gelinebileceği önerilebilir.



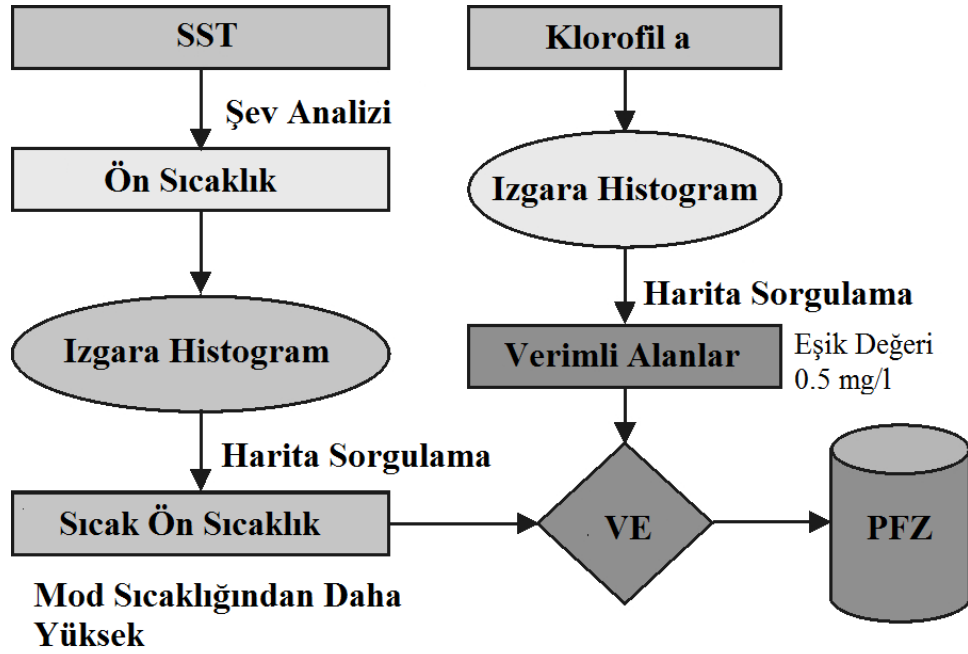
Şekil 3. Toprak yığın yoğunluğunun yüzeyde (solda) ve yüzey altında (sağda) mekansal dağılımı.



Şekil 4. Koni indeksinin yüzeyde (solda) ve yüzey altında (sağda) mekansal dağılımı.



Şekil 5. Çeltik (paddy) veriminin mekansal dağılımı.



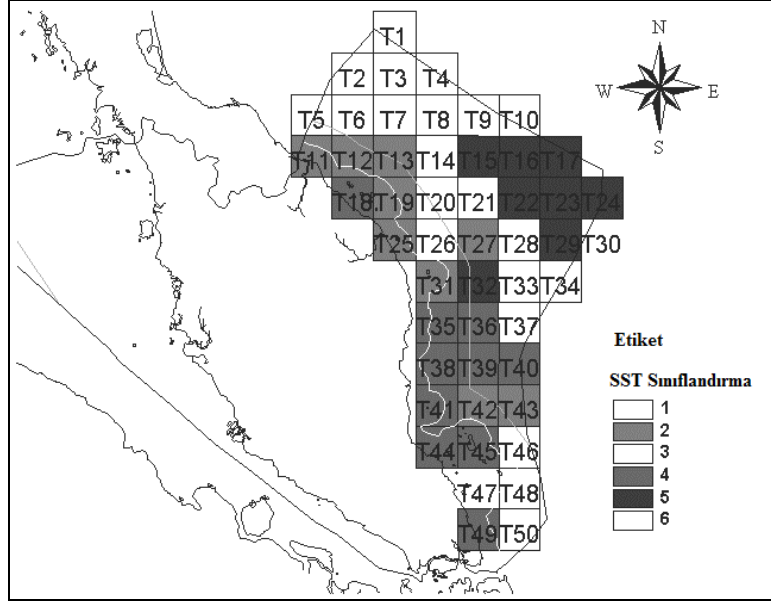
Şekil 6. Potansiyel balıkçılık bölgesi (PBB) hesaplama akış şeması

Uydu Görüntülerini Veri Girişi Olarak Kullanan CBS

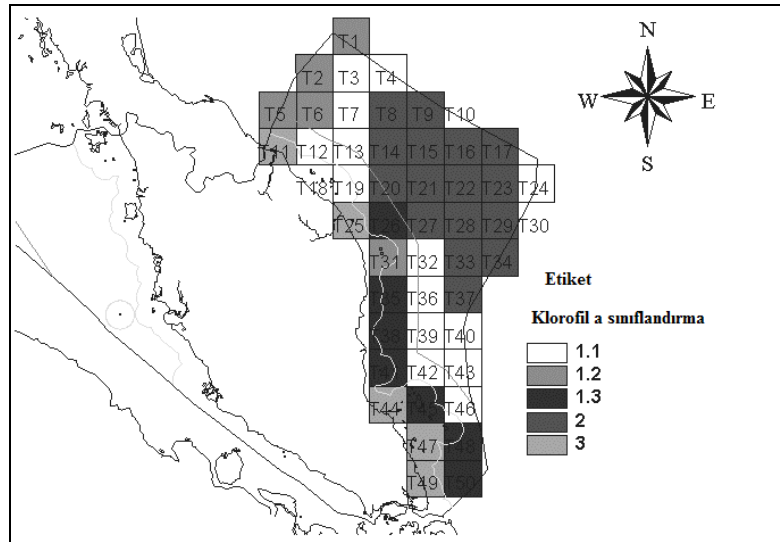
Ürün yönetiminde tarımda mekansal görüntülerin faydalı kullanımı, toprak kaynaklarının haritalanması için hava fotoğrafçılığının kullanıldığından (1929 yılı) beri bilinmektedir [9]. Uyduya dayalı balık tahmin sistemini oluşturmak için CBS kullanımı üzerine yapılan araştırma, uzaktan algılama verilerinin CBS sistemlerine girdi olarak verilebileceğini göstermiştir [10]. Bu çalışma oşinografik şartlardaki değişkenliğe karşı yüzey fitoplankton dağılımları arasındaki korelasyonu analiz etmiş ve Malezya yarımadasının doğu kıyılarında deniz suyunun aşağıdan yukarı doğru

hareket ettiği (upwelling) alanlarda yüksek klorofil a konsantrasyonu olduğunu göstermiştir.

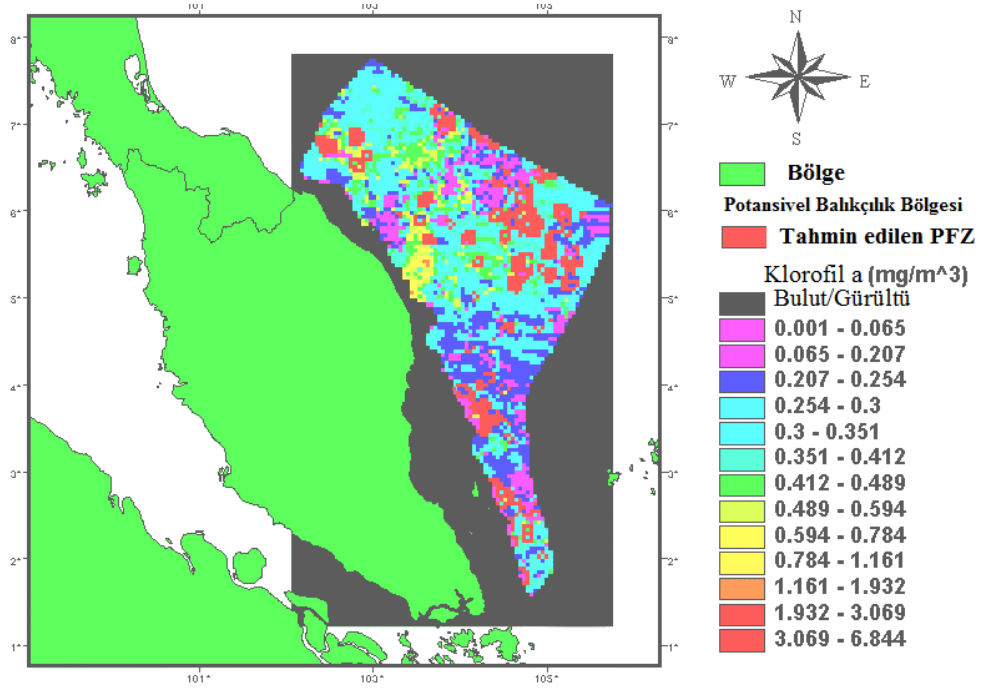
Şekil 6, bu proje için akış şemasını göstermektedir. Geometrik veri, ADEOS/OCTS ve SeaWIFS uydu görüntülerinden toplanmış ve daha fazla öznetelik verisi toplamak için oşinografik etüt yapılmıştır. Deniz yüzey sıcaklığı (SST, Sea Surface Temperature) ile ilgili öznetelik verileri uydu görüntülerden elde edilmiş ve aylık klorofil a verileri ADEOS/OCTS Küresel Harita Veri Seti ve SeaWIFS görüntülerinden çıkarılmıştır. Bu veriler daha fazla analiz için CBS yazılımı içine taşınmıştır. Bu giriş parametreleri daha sonra potansiyel balıkçılık bölgesi (PFZ, Potential Fishing Zone) üretmek için analiz edilmiştir.



Şekil 7. Deniz yüzey sıcaklığı sınıflandırması sonuç haritası.



Şekil 8. Klorofil a sınıflandırma haritası.



Şekil 9. 21-27 Eylül 2001 periyodu için potansiyel balıkçılık bölgesi.

Şekil 7'deki harita, deniz yüzey sıcaklığı sınıflandırmasının sonuçlarını gösterir, klorofil a dağılım haritası ise Şekil 8'de verilmektedir. Sonuç olarak, balıkçılara zengin balıkçılık bölgelerini gösteren bir harita elde edilmiştir (Şekil 9).

6.5.6 Tarımsal CBS'de Araştırma Eğilimleri

Daha fazla ülkenin sanayileşmesi ve kalkınmasıyla çiftliklerde çalışacak insan gücü azalmaktadır. Her geçen gün daha fazla ülkede çiftçiler, çiftliklerinin optimum yönetimi için otomasyon ve robotlara güvenme ihtiyacı duyacaktır. Bu alanlarda, CBS pek çok mekanla ilişkili görevlerde belirgin rol oynayacaktır; örneğin yarı otomatik makinaların yağ palmyesinin meyve salkımlarının hasat edilmesinde kullanılan ilk versiyonları, Malezya yağ palmyesi fidancılığında hali hazırda kullanılmaktadır. Çiftlik işlerindeki otomasyon ve robot uygulamalarında CBS kullanılacaktır. Örneğin; tarım robotlarına, ot biçme, yabancı ot temizleme, toprak işleme gibi görevler anlaşılabilir doğal bir dille çiftçiler tarafından basitçe verilebilir. Bu komutlar çiftçiler için kullanması kolay mekansal terimler içerecektir. Aynı zamanda robot programlamada makro dil kullanılarak bu terimlerin programlanması geliştirilecektir. Bu yöndeki çalışmalar hali hazırda devam etmektedir [11].

Öngörülen eğitilmiş ve kalifiye insan gücü eksikliği nedeniyle meyvelerin veya diğer ürünlerin olgunluklarının ve hasada hazır oluşlarının belirlenmesi gibi görevler de otomasyonla yapılacaktır. Meyvenin rengine dayalı görüntü analizi veya nem içeriği gibi parametreleri belirlemede kullanılacak sensörler meyve olgunluğunu belirlemek için kullanılacaktır.

Büyük ilgi çekecek araştırma alanlarından birisi de tarlada hassas tarım uygulamasını geliştirmek için CBS'nin GPS, hareketsiz navigasyon sistemleri (INS, Inertial Navigation Systems) ve sensörlerle entegrasyonu ile geliştirilen gerçek zamanlı haritalamadır. Kablosuz telekomünikasyon pazarının hızlı gelişimi taşınır bilgisayar uygulamalarını, kablosuz tarımsal CBS'nin kullanımıyla daha yüksek noktalara taşıyacaktır.

Doğru yer bilgileri ve zemin doğruluğunun oluşturulması için uydu görüntülerinin çözünürlüğündeki iyileşmeler gerçekleşmiş ve düşük maliyetli, yüksek doğruluklu taşınır GPS cihazları geliştirilmiştir. Bu durum bitki sağlığının daha kolay ve daha etkin izlenmesine imkan sağlayacaktır ve daha etkin çiftlik yönetiminin önünü açacaktır. Mekansal teknolojinin uygulanmasındaki bu atılım, çiftlik işletmeciliğini köklü bir şekilde etkileyecektir. Bu teknolojinin en büyük faydalanıcıları, bu teknolojilerde uzmanlaşan ve çiftlikleri hakkında önemli bir çalışma bilgisi ve iyi bir algıya sahip olan çiftçiler olacaktır.

Kaynaklar

1. Kluitenburg, M., and C. Redulla. 1999. Making GIS a versatile analytical tool for research in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture* 22: 221-231.
2. Neményi, M., P. Á. Mesterházi, Z. Pecze, and Z. Stépán. 2000. The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture* 25: 107-120.
3. DoE. 1987. Handling geographic information: Report of the Committee of Enquiry, chaired by Lord Chorley. London, UK: HMSO.
4. Fonseca, F. T., M. J. Egenhofer, and P. Agouris, P. 2002. Using ontologies for integrated geographical information systems. *Trans.GIS* 6(3).
5. DeMers, M. N. 2003. *Fundamentals of Geographic Information Systems*, 3rd ed. New York, NY: John Wiley and Sons.
6. Chrisman, N. 2002. *Exploring Geographic Information Systems*, 2nd ed. New York, NY: John Wiley and Sons.
7. Hin, T. C., A. R. M. Shariff, and S. K. Roy. 2002. GIS based durian plantation management system. National Seminar on Precision Farming, Kuala Lumpur, Malaysia.
8. Roy, S. K., A. R. M. Shariff, and D. Ahmad. 2003. Spatial variability of soil compaction and its effect on paddy yield. Technical Paper, Department of Biological and Agricultural Engineering, Universiti Putra Malaysia.
9. Santhosh, K. S., L. Soizik, G. M. Casady, and G. A. Seielstad. 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment* 88: 157-169.
10. Knee, T. C., S. Mansor, M. H. Ibrahim, A. R. M. Shariff, and A. R. Mahmud. 2000. Studies of sea surface temperature and chlorophyll-a variation using remote sensing in east coast of peninsular Malaysia. Proc. of the 4th Annual Seminar of Geoinformation Engineering, Serdang, Malaysia.
11. Blackmore, S., and R. Shariff. 2005. Natural language semantics to describe agricultural robotic behaviours. First Asian Precision Agricultural Conference.