

NESNEYE DAYALI (OBJECT-ORIENTED) PROGRAMLAMA TEKNİKLERİNİN ENTEGRE SU KAYNAKLARI YÖNETİMİNDE UYGULAMALARI

Dr.Ömer Faruk Durdu
Adnan Menderes Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü
odurdu@adu.edu.tr
20.12.2004

ÖZET

Gelişen ve endüstrileşen dünya nüfusu önümüzdeki yıllarda tarımı sanayisi ve yaşamı için ihtiyaç duyacağı su miktarını karşılamakta sıkıntı yaşayacaktır. Bu nedenle eldeki sınırlı su kaynaklarının optimal kullanımı ve entegre yönetimi su ile ilgili problemler için bir çözüm oluşturacaktır. Entegre su kaynakları yönetimi günümüzde birçok dünya ülkesinde uygulamaya konulmuştur. Örneğin Avrupa Birliği ülkeleri mevcut su kaynaklarını entegre nehir havzaları yönetimi geliştirerek korumaya çalışmış ve bunun için AB Su Çerçeve Direktifi geliştirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, su kaynakları yönetiminde yeraltı suyu, yüzey suları ve su kalitesi arasında entegre bir yönetim sistemini benimsemiştir. Su kaynaklarının entegre ve optimal yönetimi bilişim teknolojisi araçlarının ve yazılımlarının birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışması ile mümkündür. Günümüzde su kaynaklarının optimal kullanımı için çok amaçlı Karar Destek Sistemleri (DSS) geliştirilmiş ve bu sistemler su kaynaklarının hidrolik, hidrolojik, kalite ve sosyo-ekonomik özelliklerini tanımlayan birimsel ve nümeriksel bilgisayar yazılımları ile zenginleştirilmiştir. Güvenilir ve dayanıklı bir entegre yönetim sisteminin modellenmesi ve bakımı ancak sistemin tasarımında kullanılan esnek yazılım diline, tekniğine ve kodlamasına bağlıdır. Bu çalışmada su kaynakları yönetimi için geliştirilecek bir entegre sistemin fonksiyonlarının tasarımında ve yapısal kodlamasında nesneye dayalı bir programlama metodolojisinin geliştirilmesi tanımlanmıştır.

GİRİŞ

Geçmiş yıllarda su kaynaklarının optimal planlanması ve yönetimi için önemli veri analiz, simülasyon ve optimizasyon modelleri geliştirilmiştir. Günümüzde geliştirilen bu modeller belli bir çerçeve altında toplanarak entegre su kaynakları yönetimi kavramı oluşturulmuştur. Bu sistemler geliştirilirken su kaynaklarının, çevrenin, sosyo-ekonomik yapının ve ekolojik unsurların birbirleriyle dengede olmasına ve birbirlerini tamamlamasına özen gösterilmiştir. Entegre su kaynakları yönetim kavramı birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde uygulanmaya başlamıştır. Avrupa Birliği bu kavramı bir çerçeve yönetmelik (EU Water Framework Directive) haline getirerek üye ülkelerin sahip oldukları su havzalarını entegre bir sistemle yönetmeyi amaçlamıştır. Aynı şekilde ABD’de su yönetiminde havza içerisindeki yeraltı suları, yüzey suları ve su

kalitesi arasında bir entegrasyon kurulması zorunluluk haline getirilmiştir. Bilişim teknolojisinin gelişmesi ile birlikte su kaynakları yönetiminde entegre sistemlerin geliştirilmesi için yeni araçlar ve metotlar kullanılmaya başlanmıştır. Geliştirilen entegre modeller, kompleks su kaynakları yönetimi ile özdeşleşmiş belirsizlik şartlarına karşı esnek olmalı ve kullanıcılar için grafiksel bir kolaylık arz etmelidir. Aynı zamanda bu modellerde oluşturulan modüller (birimler) yardımı ile farklı disiplinler arasında iletişim kurularak su yönetimi ve planlaması için karar destek mekanizması geliştirilir. Oluşturulan modüller ve algoritmalar belli bir çerçevede toplanarak bir entegre model geliştirilir ve bu modeller kullanıcıya Grafiksel Kullanıcı Arabirimleri (GKA) ile ulaştırılır. GKA'lar bir entegre su kaynakları sistemi modelinde en önemli unsurlardan biri olup kullanıcıya veri analizi ve yönetiminde kolaylık sağlar (Durdu 2003). Ayrıca GKA'lardan elde edilen açıklayıcı ve sınıflandırılmış raporlar, havza içerisindeki su kaynakları yönetimi konusunda verilecek kararlarda yardımcı olur.

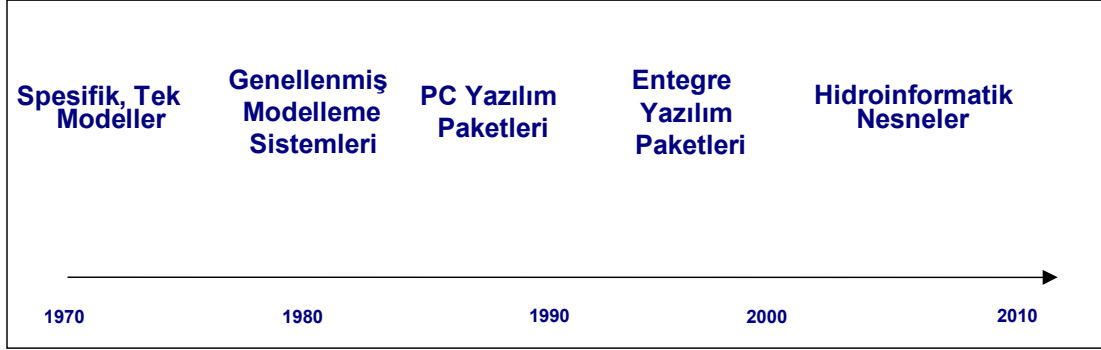
Geçmiş yıllarda su kaynakları yönetimi ve planlaması için geliştirilmiş bir çok modelin yazılım kodları su kaynaklarının o günkü ve gelecekteki koşulları göz önüne alınarak yazılmış ve statik bir yapı arz etmiştir. Daha çok prosedüre dayalı programlama teknikleri (FORTRAN, C) hidrolojik ve hidrolik modellemelerde kullanılmıştır, örneğin HSPF ve SWMM modelleri bunlardan birkaçıdır (Refsgaard *et al.* 1996) . Bu programlama tekniklerinde büyük boyutlu kompleks hidrolojik veya hidrolik analizler daha küçük ve basit fonksiyonlara bölünerek programlanır. Bu modüller (birimler) arası ilişkilerde ve bilgi akışında karmaşıklığa neden olmaktadır. Bu tekniklerle bir modelin yazılım aşamasında verilerin göz ardı edilip fonksiyonlara ağırlık verilmesi hatalara sebebiyet verir ve buda verilerin bozulma nedeni olabilir. Yazılan modellerin güncellenmesi, yeni fonksiyonların eklenmesi veya eski fonksiyonların yeni fonksiyonlar içinde kullanılması zordur. Ayrıca bu modellerin çalışabilmesi için önemli ölçüde geçmiş zaman serileri ve bilimsel verilere ihtiyaç duyulmuş ve buda modelin fizibil olmasını olanaksız kılmıştır. Özellikle farklı disiplinler (sosyoloji, bilgisayar, hidroloji, matematik) arasında gerekli iletişimin kurulamaması ve yapılan programlama kodlamalarının farklı yazılım dillerinde olması su kaynakları için bir entegre sistemin oluşmasını geciktirmiştir. Fakat su kaynaklarının giderek azalması, bilinçsizce kullanılması ve bunun sosyolojik etkisi farklı disiplinlerdeki bilim adamlarının entegre bir su yönetim modelinin kurulmasında hemfikir kılmıştır. Aynı zamanda bilişim teknolojisi araçlarında ve metodolojilerinde hızlı gelişmeler bilim adamlarına bir cesaret kaynağı olmuştur. Nesneye dayalı programlama dilleri ve teknikleri toplanan zaman serisi verilerinin (hidrolojik, meteorolojik vb.) farklı bir yöntemle yorumlayarak su kaynakları yönetimi için yeni modellerin ve algoritmaların geliştirilmesine kapı açmıştır. Nesneye dayalı programlama teknikleri ile tasarım yapılırken su kaynakları sisteminin yönetimindeki işlev değil de sistemi oluşturan nesnelere (yağış, buharlaşma, yüzey akışı) esas alınır ve programcılar kendi veri tiplerini oluşturabilirler. Nesneye dayalı modeller geliştirildikten sonra farklı şekillerde defalarca kullanmak mümkündür. Güncellenmesi ve bakımının kolay olması, takım çalışmaları ile daha uyumlu olması nesneye dayalı programlama tekniğini su kaynakları yönetiminde cazip kılmıştır. Entegre su yönetim modellerinin kolay bir şekilde bakımının sağlanması ve geliştirilmesi için kodlama tekniklerinin nesneye dayalı yazılım mimarisi ile (VB.NET, C++) yapılması kaçınılmazdır.

SU KAYNAKLARI YÖNETİMİ YAZILIMLARININ TARİHİ VE EĞİLİMİ

1980'lerden önce su kaynakları yönetimi için geliştirilen bilgisayar modelleri genellikle statik bir yapıya sahip olup daha çok bilgisayarın sınırlı işlem hacmi ve yetenekleri düşünülerek yazılırdı. Yazılımlar sadece bir projeye spesifik olarak geliştirilir ve başka projelere adapte edebilmek için yazılımın yapısında büyük değişiklikler yapılması gerekirdi. Ayrıca geliştirilen bu yazılımlar kullanıcıya uygun bir arabirimine sahip olmadığından kullanımında zorluklar ile karşılaşılırdı. İntput dosyaları geniş dosyalardan oluşmakta, programdan elde edilen outputlarda yine düz bir dosya içerisinde grafiksel arabirimlerden yoksun bir yapı içermekteydi. 1980'lerden sonra araştırmacılar statik modeller yerine dinamik ve daha genel modellerin geliştirilmesine ağırlık vermişlerdir (Abbott *et al.* 1986). Su kaynakları yönetimi içerisinde farklı disiplinler farklı yazılımlar ile çeşitli modeller geliştirmişlerdir. Örneğin yeraltı suyu için FEFLOW, AQUIPACK, FRACTRAN vb. ve, nehir havzaları için MIKE 11, MODSIM vb. gibi esnek ve yüksek kapasiteye sahip modeller yazılmıştır. Bu modeller genel modeller olup herhangi bir su kaynakları modelleme projesinde kullanılabilir ve verilere göre ayarlanabilir niteliktedirler. Yazılım teknolojisindeki hızlı gelişmeler, esnek ve nesneye dayalı programlama teknolojisindeki yenilikler ve bilgisayarlardaki işlem hacimlerinin artması ile birlikte su kaynakları modellemelerinde çeşitliliklerde artmıştır. Özellikle Coğrafik Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlarında son değişimler, ilişkisel veritabanlarının kırılmaz ve güvenilir hale gelmesi (Oracle gibi), animasyon yazılımlarındaki gelişmeler (Macromedia ürünleri) su kaynakları yönetiminde daha iyi, güvenilir ve esnek modellerin ve algoritmaların gelişmesini sağlamıştır (Theobald 2003). Son yıllarda CBS tekniklerinin, grafiksel kullanıcı arabirimlerinin (GKA), ve veritabanlarının MS Windows yazılımları ile mükemmel iletişimi, kullanıcılar için geliştirilmesi ve anlaşılması kolay modellerin yazılımlarını sağlamıştır (Durdu 2004).

1990 yıllarına kadar su kaynakları için geliştirilen modeller bir entegre projeden daha çok sadece sistemin planlanması ve yönetimi ile ilgili modellerdi (Abbott *et al.* 1991). 1990'larda çevre problemlerinin ve su kirliliği sorunlarının ön plana çıkması ile birlikte geliştirilen su kaynakları modellerinin bir entegre model olmasına dikkat edilmiş ve sosyoloji, ekonomi, çevre ve sağlık disiplinleri ile entegre olmuş su kaynakları yönetim modelleri geliştirilmeye başlanmıştır. Entegre model sistemleri bir su sistemi içerisindeki (nehri havzası) yüzey suları, yeraltı suları, topraktaki kimyasal ve biyolojik süreçler arasında iletişim kurularak geliştirilmişlerdir. Fakat bu modeller geliştirilirken her disiplin kendi yazılımını geliştirmiş ve sonra bu yazılımlar bir araya getirilerek entegre bir model oluşturulmuştur. MODEFLOW, SWMM, HSPF gibi modeller bu şekilde özel mühendislik kurumları tarafından bir paket haline getirilerek ticari bir yazılım olarak piyasaya sunulmuştur. Bu modeller her ne kadar entegre model olsalar da kullanımındaki zorluklar, anlaşılabilir GKA'ya sahip olmamaları, yeterli veri analiz araçlarının olmaması bu modellerin uzun süre piyasada kalmasını sağlayamamıştır (Karsten *et al.* 2002). Su kaynakları sistem modellemesinde artan kompleks yapı daha gelişmiş, esnek, CBS teknikleri ile rahat iletişim kurabilen, GKA yazılımları ile kolay çalışan, teknoloji harikası veritabanları ile anlaşılabilir kodlama tekniklerinin kullanılmasına yol açmıştır. Bir entegre modelin genel olarak farklı projelerde kullanılabilmesi o modelin farklı şartlara uyum sağlamasına ve kodlarının kolay

değişimine bağlıdır. Bu nedenle entegre su kaynakları modelleri birçok hidroinformatik nesnelerin bir araya gelmesiyle oluşturulmalıdır. Bir hidroinformatik nesnede bir entegre modelin spesifik yazılımları olabilir. Örneğin entegre modelin yeraltı su modeli, GKA yazılımı, veri sorgulama kodları, arabirim ve iletişim modelleri bu entegre modelin birer nesnelere olabilir. Bu nedenle günümüzde geliştirilen entegre su kaynakları yönetim modelleri bu metodoloji izlenerek tasarlanmakta ve entegre model iyi bir arabirime sahip, iyi tanımlanmış nesnelere topluluğundan oluşturulmaktadır. Şekil 1’de geçmişten günümüze kadar olan süre içerisinde su kaynakları modellerinde olan gelişmeler gösterilmiştir.

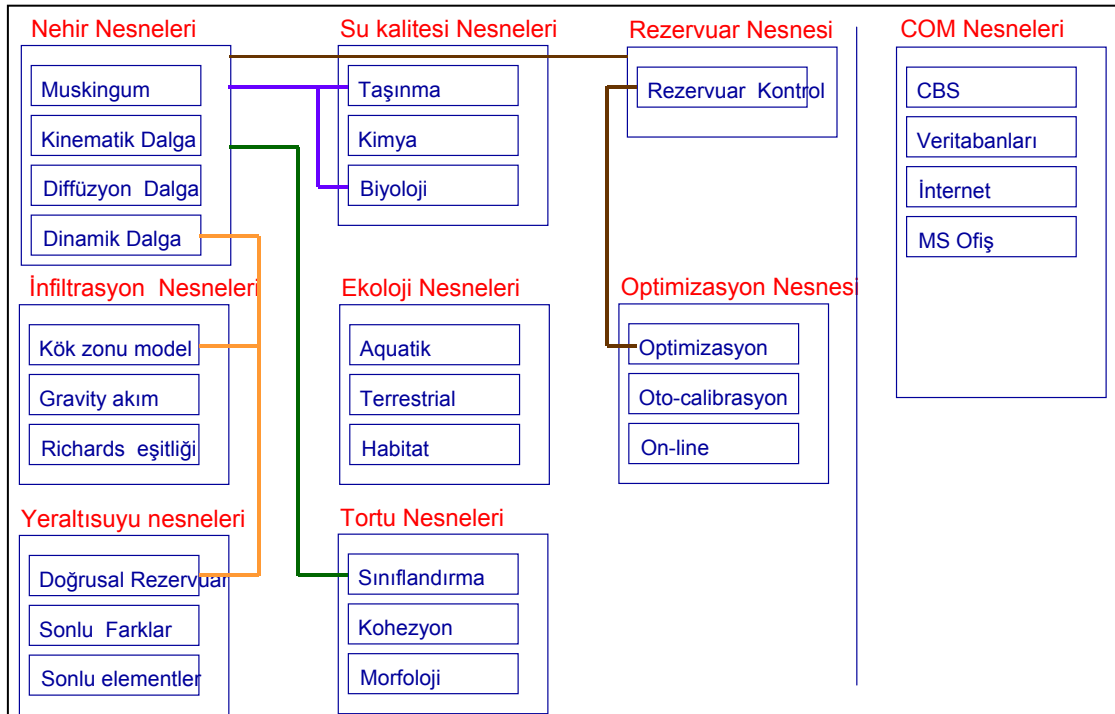


Şekil 1. Su kaynakları modellerinin tarih içerisindeki gelişimi (Karsten *et al.* 2002).

NESNEYE DAYALI KODLAMA TEKNİĞİ

Günümüzde her ne kadar su kaynakları yönetimi için entegre modeller geliştirilmişse de genelde bir çok model sadece spesifik projeler için kodlanmıştır. Gelişen yazılım teknolojisi ile çoğu durumlarda bu spesifik modeller arasında kodlama teknikleri ile bağlantı sağlanabilir ve bu modeller birbirinden veri alışverişi yapacakları gibi birbirlerinin fonksiyonlarını ve kütüphanelerini de kullanabilirler. Fakat bu şekilde geliştirilen entegre modellerin sadece belirli projelerde kullanılabilme gibi kısıtlayıcı özelliği vardır (Karsten *et al.* 2002). Yani spesifik modellerin bağlantısı için geliştirilen kodlar sadece spesifik projeler için geliştirildiği için genel olarak bütün su kaynakları projeleri için kullanılamaz. Ayrıca bu modellerden birinin geliştirilmesi, kodlarında veya kütüphanelerinde yapılan değişiklikler diğer programları ve bu programlar arasında bağlantı kurulması için yazılan kodlarda da bir değişikliğe gidilmesine neden olacaktır. Kodlar veya algoritmalar yazılarak bağlantı kurulan modeller sadece birbirlerinden veri almak veya kütüphanelerinden yararlanmak amacıyla iletişim kurarlar. Diğer bir deyimle bu modeller kodlama tekniklerinde ve yapılarında birbirlerinden bağımsız modellerdir. Hatta bu modellerin kullandıkları programlama dilleri de farklılık arz etmektedir. Geliştirilen bu modeller arasında yukarıda belirtilen sorunların giderilmesi için araştırma kurumları veya yazılım firmaları tarafından kodlama teknikleri birbirine benzeyen eşleştirilmiş veya bağlaştırılmış (coupled) modellerin geliştirilmesi gerekmektedir. Entegre su kaynakları modeller atmosferik, hidrolojik, hidrodinamik, morfolojik ve ekolojik nesnelere yardımcı araçlar gibi görüp bunları karar verme aşamasında kullanır. Ayrıca modellerin simülasyonu sonucunda elde edilen çıktılar diğer disiplinler (ekonomi,

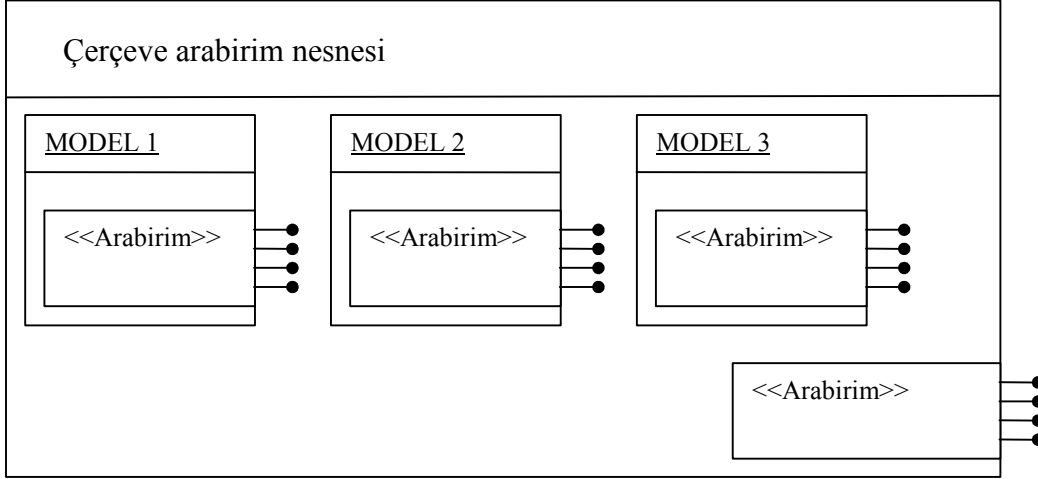
sosyoloji, sağlık) ile kombine hale getirilerek Karar Destek Sistemleri (DSS) geliştirilir. Bu sistemler içerisinde simülasyon modellerinin yanında optimizasyon modelleri de geliştirilerek su kaynaklarının optimal kullanımı konusunda da fikirler elde edilir. Optimizasyon, simülasyon, matematiksel, grafiksel, veritabanı modelleri belli bir kodlama stratejisi altında bir araya getirilerek bağlaştırılmış hidroinformatik modeller oluşturulur. Entegre su kaynakları modellerinde Karar Destek Sistemleri Şekil 2’de gösterildiği gibi birçok nesneden meydana gelen programlardır. Bu modellerin kodlama tekniğinde genel kural olarak tüm nesnelere birbirleriyle basit arabirimler kullanılarak bağlanmıştır. Nesneye dayalı programlama teknikleri entegre su kaynakları modellerinin geliştirilmesi için mükemmel bir araçtır. CBS, veritabanları, web sunucuları, Windows ve MS Office yazılımları ile sorunsuz çalışması bu programlama teknikleri günümüzde en çok kullanılan tekniklerdir.



Şekil 2. Nesneye dayalı programlama tekniği ile tasarlanan su kaynakları yönetim modeli (Karsten *et al.* 2002)

Nesneye dayalı entegre su kaynakları modellerinin geliştirilmesinde temel dayanak nesnelere bir genel arabirim ile bir arada programlanmasıdır. Bir genel veya çerçeve arabirim nesnesi entegre model içerisindeki tüm nesnelere (hidrolojik, hidrolik, ekolojik vb. modelleri) yönetir ve bunlar arasında bağlantı kurulmasını (data alışverişi, kütüphanelerin kullanılmasını) sağlar. Arabirimler metotlardan ve özelliklerden oluşur. Özellikler entegre model içerisinde modeller arasında data alışverişini sağlayan fonksiyonlardır. Metotlarda data sağlanmasından sonra modeli çalıştıran veya çalışmasını tetikleyen fonksiyonlardır. Entegre model içerisinde yer alan her bir model Şekil 3’deki gibi aynı zamanda farklı model, araç, ve veri sağlayıcı nesnelere oluşur. Şekil 3’deki modelin en büyük avantajı bir model genel bir arabirim ile nesne modeli pozisyonuna

geçmesi durumunda bu model diğer modeller ile kolayca bağlaşılabılır veya eşleşebilir (coupling). Entegre modellerin sadece bir tek arabirim ile yönetilmesi bu modellerin farklı tip modellerle iletişimini kolaylaştırır. Bir model properti fonksiyonu ile data alırken diğer model metod fonksiyonu ile sistemi çalıştırır. Modeller arasındaki bağlaşım üç şekilde meydana gelebilir: 1) Manual olarak ve bir kullanıcı arabirimi yardımıyla, 2) Kullanıcı arabirimiyle yarı otomatik olarak uygun bağlantıların yapılması



Şekil 3. Bağlaştırma veya eşleştirme (coupling) tekniği (Karsten *et al.* 2002).

ile, 3) Otomatik olarak. Modeller arasında bağlaştırma veya eşleştirme (coupling) yapılması sırasında, nesne modellerinin içermiş olduğu verilerin her birinin tek (eşsiz) numaraya sahip olduğu kabul edilir. Modelin simülasyonu gerçekleştirilirken bir model diğer bir modelden veri isteyebilir veya verinin işlenmesinden sonra sonucu isteyebilir. Örneğin bir nehir havzası sınıfı kodlanırken bu sınıf verileri, nesne modellerini (yağış nesnesi, bitki örtüsü nesnesi, evapotranspirasyon nesnesi, toprak ve su kanalları nesnesi vb.) ve simülasyon parametrelerini (zaman dilimi ve zaman aralığı vb.) içerebilir (Refsgaard *et al.* 1995). Yağış ve evapotranspirasyon (ET) nesne modelleri yağış ve potansiyel ET verilerini sağlama görevi üstelenebilirler. Bitki örtüsü nesne modeli toprak ve kanal nesnelere ile birlikte çalışıp toprak ve kanallarla ilgili hidrolojik simülasyon (hidroProses) gerçekleştirebilir. Bu simülasyon ile ilgili kodlama şöyle yazılır:

```

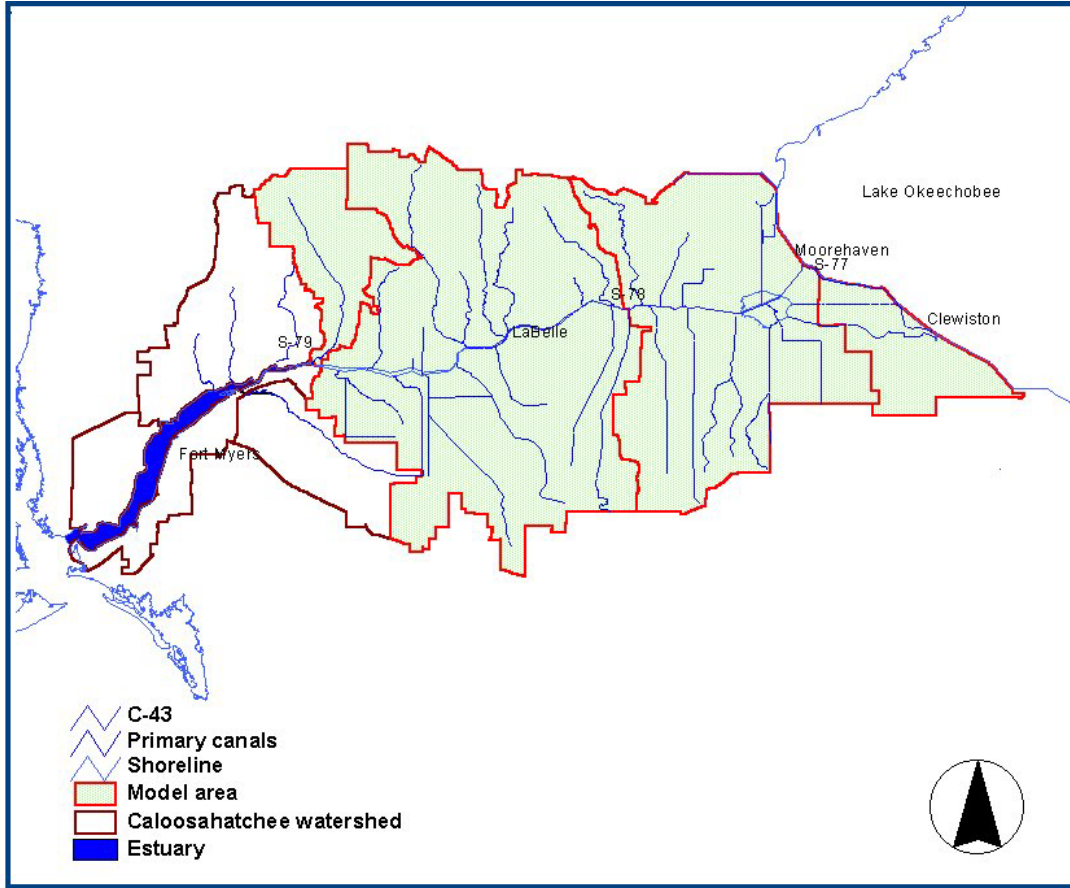
template <class S, class C>
void nehirhavzası<S,C>::hidroProses()
{
    for (int i=0; i<Ntsteps; i++)
    {
        bitkiÖrtüsüProses(yağış);
        toprakProses(i, bitkiörtüsü.getThoughQ(), _ET);
        kanalProses(i, toprak.getBaseQ(), toprak.getSurfaceQ()
        , Ntsteps)
    }
}

```

Şekil 4. HidroProses fonksiyonu simülasyonu.

NESNEYE DAYALI ENTEGRE MODEL ÖRNEĞİ

Bu çalışmada ABD’de Florida eyaletinde tasarlanan ve uygulanan nesneye dayalı bir entegre su kaynakları yönetim modeli tanımlanmıştır (Şekil 5). Caloosahatchee nehir havzası gerekli suyun Okeechobee gölünden, havza aquifer sisteminden ve yağışlardan alır. Havzada önemli ölçüde sulama yapıldığından gölden alınan su miktarı yeterli değildir (Karsten *et al.* 2002).



Şekil 5. Caloosahatchee nehir havzası (Karsten *et al.* 2002).

Bu nehir havzası içinde yağışlardan dolayı oluşan akımları ve nehir akışını kontrol etmek için önemli sayıda kontrol yapıları (sanat yapıları) yapılmıştır. Sulamanın önemli olduğu nehir havzasında suyun kullanıcılara yeteri miktarda ve zamanında dağıtılması gerekmektedir ve ayrıca yeraltı ve yüzey sularının kalitesinin korunmasına dikkat edilmektedir. Bu nedenle bu havza için bir nesneye dayalı entegre yüzey-yeraltı suyu modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model tamamen dinamik ve entegre bir model olup MIKE SHE entegre hidrolojik modeli esas alınarak kodlanmıştır. Modelin yeraltı suyu modelleme kısmı MODFLOW modeli benimsenerek planlanmıştır. MIKE SHE entegre nehir havzası modeli nesneye dayalı bir kodlama tekniğine sahip olup aynı zamanda MODFLOW ile dinamik bir bağlantısı vardır (Karsten *et al.* 2002). Bu nehir havzası için geliştirilen modelde kullanılan veriler meteorolojik, toprak fiziği, hidrojeoloji, kanal geometrisi, hidrolik kontrol yapıları, toprak kullanımı ve sulama verileridir. Geliştirilen

modelin en önemli özelliği yeraltı suyu modeli ile yüzey suyu modeli arasında mükemmel bir iletişim sağlamasıdır. Ayrıca havza içerisindeki sulama verileri toplanarak yüzey ve yeraltı sularının kullanıcılara dağıtımını eşit bir şekilde sağlanmıştır. Entegre model CBS yazılımları ile de kombine edilerek gerçek zamanda havza içerisindeki su kaynakları ile ilgili gelişmeler izlenmektedir. Son geliştirilen CBS teknolojisinin (ArcGIS) nesneye dayalı programlama teknikleri (Visual Basic) ile mükemmel çalışması ve harita sunucuları ile kullanıcılara görsel sonuçlar vermesi geliştirilen modeli daha da olumlu kılmıştır (Durdu 2003).

SONUÇ

Entegre su kaynakları yönetimi yazılım paketleri gelişmiş veya gelişmekte olan bir çok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Su kaynaklarının optimal yönetimi için çok amaçlı entegre yazılımların geliştirilmesi muhakkaktır. Entegre model sistemleri su kaynakları yönetimi işlevini yerine getirdiği gibi çevre, ekosistem, sosyo-ekonomik disiplinlerle de iletişim kurarak en iyi çözümü bulmaya çalışır. Bu nedenle su kaynakları modellemesinde çok iyi bir entegre model geliştirmek için mevcut modeller arasında bağlaşım veya eşleştirme (coupling) yapılarak yeni bir modellemeye gidilmesi ve bu modelle diğer bilişim teknolojilerinin (CBS, veritabanları, programlama dilleri) birbirleriyle kombine edilmesi gerekir. Nesneye dayalı bir modelleme sistemi modeller arasında bağlaşımı ve kombinasyonu çok iyi sağlayacak esnek programlama teknikleridir. Bu teknikler ile geliştirilen arabirimler, nesne modeller yardımıyla zaman serisi ve konumsal verilere ulaşarak verileri alır ve kodları çalıştırır. Entegre modeller elde edilen sonuçları yine grafik programları ve CBS teknolojisiyle birlikte kullanarak su kaynakları konusunda verilecek kararları ve çözümleri görsel bir şekilde sunar. Son yıllarda Macromedia ve ESRI (2001) gibi yazılım firmaları yazılım tekniklerini değiştirerek Java ve Visual Basic gibi nesneye dayalı programlama teknikleri kullanmaya başlamışlardır. Buda programların birbirleriyle entegrasyonunun da kolaylık sağlamış aynı zamanda su kaynakları için geliştirilen modellerin bağlaşımında bir çıkış açmıştır.

KAYNAKÇA

Abbott, M.B., Havnø, K., Lindberg, S., *The fourth generation of numerical modelling in hydraulics*. Journal of Hydraulic Research, VOL. 29, 1991, NO.5

Abbott, M.B., J.C. Bathurst, J.A. Cunge, P.E. O'Connell and J. Rasmussen, J., *An Introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen 'SHE' 2: Structure of a physically based distributed system*. Journal of Hydrology, 87, 61-77, 1986.

Durdu O.F. (2004): “*Optimal control of irrigation canals using recurrent dynamic neural networks (RDNN)*” Proceedings of the ASCE EWRI 2004 World Water & Environmental Resources Congress, June 27-July 1, 2004, Salt Lake City, UT: ASCE, CD-rom, 14 pp.

Durdu, O.F. (2004): “*Estimation of State Variables for Controlled Irrigation Canals via a Singular Value Based Kalman Filter*”, Fresenius Environmental Bulletin, 13(11).

Durdu, O.F. (2004): “*Regulation of Irrigation Canals using a Two-Stage Linear Quadratic Reliable Control*”, Turkish J. Eng. Eng. Sci, 28, 111-120.

Durdu, Ö. F. 2003. “*Robust Control of Irrigation Canals.*” Ph.D. Dissertation, Colorado State University, Civil Engineering Department, Fort Collins CO, USA.

Durdu, Ö. F. 2003. “*Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde bilişim teknolojisinin önemi*” Akademik Bilişim 2004, KTÜ, Trabzon, Turkey.

ESRI Press. 2001. “*Getting to Know ArcGIS.*” Redlands California, USA.

Karsten, M., Refstrup H., Gregersen J.B. 2002. “*Integrated water resources modelling and object oriented code architecture*” 1st Asia-Pacific DHI Software Conference, 17-18 June 2002, Bangkok, Thailand.

Refsgaard, J.C. and Havnø, K., *New Developments in Modelling, Framework for Decision Support*. Paper Presented at EU RIBAMOD Concerted Action, Copenhagen 10-11 October 1996

Refsgaard, J.C. and Storm, B. 1995. *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, 809-846

Theobald, M.D. 2003. “*GIS Concepts and ArcGIS Methods.*” Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins CO, USA.