

itüdergisi/e
su kirlenmesi kontrolü
Cilt: 16, Sayı: 1-3, 79-90
2006

Türkiye’de havzalar arası su transferi için bir karar destek sistemi önerisi

Nusret KARAKAYA^{*}, İ. Ethem GÖNENÇ

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Mevcut su kaynaklarının endüstriyel, tarımsal ve kentsel su ihtiyacını karşılayamaması, su kaynaklarının restorasyonu, kuraklık, mevcut su temin sisteminin performansının ve esnekliğinin artırılması, enerji üretimi vb. gerekçeler ile Türkiye dahil birçok ülkede su transfer projeleri hayata geçirilmiştir. Havza içerisinde diğer doğal kaynaklarla birlikte bir bütünü oluşturan su kaynaklarının yapay yollarla bir bölgeden bir başka bölgeye transfer edilmesi, dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve analiz edilmesi gereken çevresel, sosyal ve ekonomik sorunları da beraberinde getirmektedir. Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde mevcut kurumsal yapı nedeniyle ciddi sıkıntılar yaşayan Türkiye’nin havzalar arası su transferi ile ilgili, karar vericilere yardımcı olabilecek, bilimsel verilerle desteklenmiş bir “karar destek sistemine” ivedilikle ihtiyacı vardır. Bu nedenle su ihtiyacının karşılanması için başka bir havzadan su transfer edilmesi seçeneğinin bilimsel verilerin ışığında irdelenebilmesi amacıyla bu çalışmada; güvenilir, basit ve Türkiye’nin mevcut kısıtlı veri birikimine uygun, konuyu sadece çevresel boyutu ile alan bir karar destek sistemi önerilmiştir. Önerilen karar destek sistemi, bir örnek olmak üzere Büyük Melen Su Transfer Projesi için uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Havzalar arası su transferi, çevresel ve sosyoekonomik etkiler, karar destek sistemi.*

^{*}Yazışmaların yapılacağı yazar: Nusret KARAKAYA. nusretk@corlu.edu.tr; Tel: (282) 652 94 75.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Havzalar arası su transferine sistematik bir yaklaşım" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 30.06.2006 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 21.08.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

A decision support system proposal for interbasin water transfer in Turkey

Extended abstract

Achieving sustainable management of water resources is a conscious social decision that provides long-term durability of a watershed regarding ecological and economical means. The limited capacity of the world's water resources as an important natural capital (NC) cannot meet the growing demands of the socio-economic system (SES) without setting a strategy of sustainable management. One of the simplest solutions of the problem that is applied in many countries is water transfer from a rich water resource to another. Interbasin transfer of water can simply be described as the transfer of water artificially from one basin to another through a pipeline or a canal. Interbasin water transfers are a common component of many regional water systems. It has been in use for a long time all over the world. At present, a great number of various water transfer systems operate or are under construction for urban drinking water supply, irrigation, industry and environmental rehabilitation. Although it is clear enough that an underlying premise to this decision is the recognition of the interdependence between NC and SES that directly or indirectly influences the ecosystem, this important link is not taken into consideration in Turkey during decision making process with the goal of developing a long-term integrated plan for sustainable management of both watersheds.

In this study, a reliable and simple decision support system was developed to help decision makers about interbasin water transfer. The first stage of the support system is the investigation of alternatives water resources. Reuse of urban waste water, desalination, rainwater harvesting and water demand management should be evaluated as a water resources and then transfer decision should be made. This subject is the main topic of water resources management that it was not evaluated within the context of this study. In the second stage the transfer decision is evaluated in details. After this stage it is possible to produce knowledge for decision makers about interbasin transfer is possible or not, and if it is, what would be the amount of water transferred, types of transfer (permanent transfer, contingent transfer). The decision support system was developed following

three basic principles: First, the area of delivery must face a substantial deficit in meeting present or projected future water demands after consideration is given to alternative water supply sources and all reasonable measures for reducing water demand. Second, it will be provided that there will not be any substantially degradation of environmental quality in the donor basin. There will not be any destruction in habitat of living organisms that is under protected and economically valuable. Third, transfer will be possible, when the future development of the donor basin must not be substantially constrained by water scarcity. However consideration to transfer that constraints future development of donor basin may be appropriate if the receiving basin compensates the donor basin productivity losses. It is aimed that the support system should be appropriate to Turkey's condition and must be reliable, simple and admitting of rapid assessment.

Furthermore, the developed decision support system was implemented to Büyük Melen Water Transfer Project (Water transfer from Büyük Melen River to Istanbul) as an example. As a result of developed decision support system, to prevent degradation of ecosystem quality in the downstream of the diversion point of Büyük Melen River flow rate should be $18 \text{ m}^3/\text{s}$ at least. It is planned that the amount of the transferred water will be $8.50 \text{ m}^3/\text{s}$ at the first stage. For this reason the amount of transferred water must be $3.40 \text{ m}^3/\text{s}$ and $4.84 \text{ m}^3/\text{s}$ in July and October respectively, and this result indicates that water must not be transferred in August and September from the river. In the last stage of the projects the amount of transferred water should be as follows to prevent degradation of aquatic ecosystem: $34.74 \text{ m}^3/\text{s}$ in May, $13.40 \text{ m}^3/\text{s}$ in June, $3.40 \text{ m}^3/\text{s}$ in July, $4.84 \text{ m}^3/\text{s}$ in October transferred and no transfer in August and September. In this condition the average flow rate of transfer is $32 \text{ m}^3/\text{s}$. It is planned that the amount of the transferred water will be $37.50 \text{ m}^3/\text{s}$ at the last stage. This planned flow rate is bigger than flow rate which is calculated with the developed support system. As a result Büyük Melen River ecosystem will be affected if the proposed action plan is not considered.

Keywords: Interbasin water transfer, ecosystem quality, decision support system.

Giriş

Havzalar arası su transferi; bir boru hattı veya kanalla herhangi bir havzadan bir başka havzaya suyun yapay yollarla taşınması/iletilmesi olarak tanımlanabilir. Ayrıca gemi ile bir adaya taşınan veya başka yerlerde satılmak amacıyla şişelenen su da bir transfer problemi olarak ele alınabilir. Gereksinim duyulan yerde ve/veya havza içinde mevcut su kaynaklarının endüstriyel, tarımsal ve kentsel su ihtiyacını karşılayamaması, su kaynaklarının restorasyonu, kuraklık, mevcut su temin sisteminin performansını ve esnekliğini artırmak, enerji üretimi vb. gerekçeler ile Güney Afrika, İspanya, Almanya, ABD, Çin, Japonya, İran, Libya, Türkiye ve daha birçok ülkede su transfer projeleri hayata geçirilmiştir (Summary, 1999).

Havza içerisinde diğer doğal kaynaklarla birlikte bir bütünü oluşturan su kaynaklarının yapay yollarla bir bölgeden bir başka bölgeye transfer edilmesi, dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve analiz edilmesi gereken çevresel, sosyal ve ekonomik sorunları da beraberinde getirmektedir. Transfer uygulamaları ile ortaya çıkan en önemli problemlerden birisi sucul canlıların yaşam alanlarının tahrip olmasıdır. Su transferi uygulamaları nedeniyle suyun alındığı havzada sosyoekonomik sistem de etkilenmektedir. Transfer uygulamaları ile su genellikle kırsal alanlardan kentsel alanlara taşınmaktadır. Söz konusu su transferi sonucunda ekonomisi sulu tarıma, balıkçılık ve rekreatif alanların varlığı nedeniyle turizm gelirlerine dayanan kırsal alanlarda ürün veriminde azalma, balıkçılık faaliyetlerinin sona ermesi, turizm gelirlerinde azalma vb. nedenlerle ciddi ekonomik problemler yaşanabilmektedir. Su transferi uygulamalarının günümüzde yarattığı sorunlardan bir diğeri ise su hakları dolayısıyla su kaynaklarının paylaşımı sorunudur. Özellikle transfer uygulamaları ile birlikte suyun transfer edildiği havzada çeşitli nedenlerle meydana gelebilecek ekonomik kayıplar bu konuda tartışmayı kaçınılmaz kılmaktadır. Uluslararası sular söz konusu olduğunda konu daha da karmaşık bir hal almakta ve herkesin üzerinde uzlaşabileceği çözümlerin geliştirilmesi daha da zorlaşmaktadır. Su kaynaklarının yönetimi ile ilgili açık ve anlaşılır politika

ve stratejilerin su transferini de içerecek şekilde geliştirilmemiş olması su transferine alternatif olabilecek kentsel atık suların geri kazanılarak yeniden kullanılması, desalinizasyon, yağmur suyu hasadı ve talep yönetimi gibi çözümlerin detaylı bir şekilde incelenmemesine de neden olabilmektedir. Ayrıca planlama hataları nedeniyle ciddi ekonomik kayıplar da meydana gelmektedir (Summary, 1999).

Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde mevcut kurumsal yapı nedeniyle ciddi sıkıntılar yaşayan Türkiye'nin büyük ölçekli su transfer projelerinin yaratacağı çevresel, ekonomik ve sosyal sorunlara çözüm bulabilmesi için konuyla ilgili sistematik bilgi üretmesi ve politika belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca bu konuda herhangi bir kriter de yasalarımızda tanımlanmamıştır. Dolayısıyla ülkemizin, su transferi ile ilgili karar vericilere yardımcı olabilecek, bilimsel verilerle desteklenmiş bir "karar destek sistemine" ivedilikle gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle bu çalışma söz konusu ivedi gereksinimi karşılayacak bir öncü çalışma olarak ele alınmalıdır.

Türkiye için önerilen karar destek sisteminin genel yapısı

Türkiye için önerilen/geliştirilen karar destek sistemi aşağıdaki temel ilkeler doğrultusunda geliştirilmiştir:

1. Alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesine ve talebin azaltılması için alınan önlemlere rağmen bir bölge hala su sıkıntısı çekiyorsa veya çekecekse su transfer edilecektir.
2. Su transferi nedeni ile suyu veren havzada çevre/ekosistem kalitesinde önemli bir bozulmanın olmaması sağlanacaktır.
3. Koruma altında bulunan veya ekonomik değeri olan canlıların yaşama alanları tahrip edilmeyecektir.
4. Suyun alındığı havzanın ekonomik gelişimi için su gelecekte önemli bir sıkıntı teşkil etmeyecekse transfer gerçekleştirilecektir.

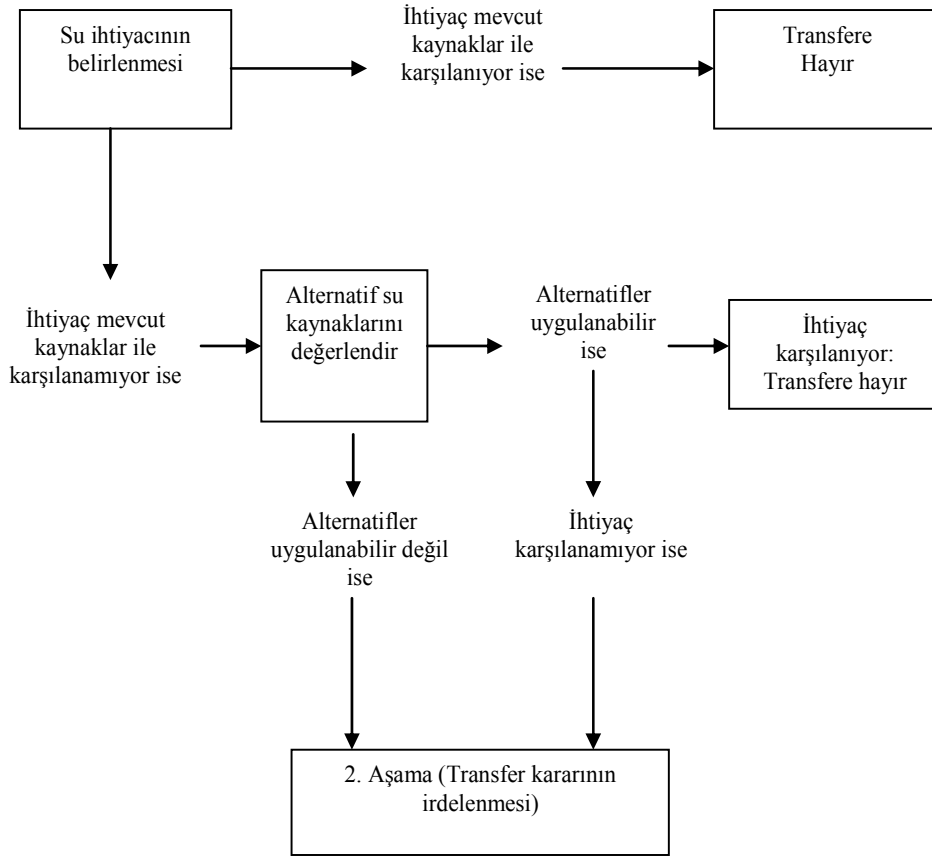
Bununla birlikte suyun alındığı havzada gelecekte söz konusu olacak ekonomik kayıplar karşılanırsa su transferi gerçekleştirilecektir.

Bu çalışma kapsamında önerilen destek sisteminin:

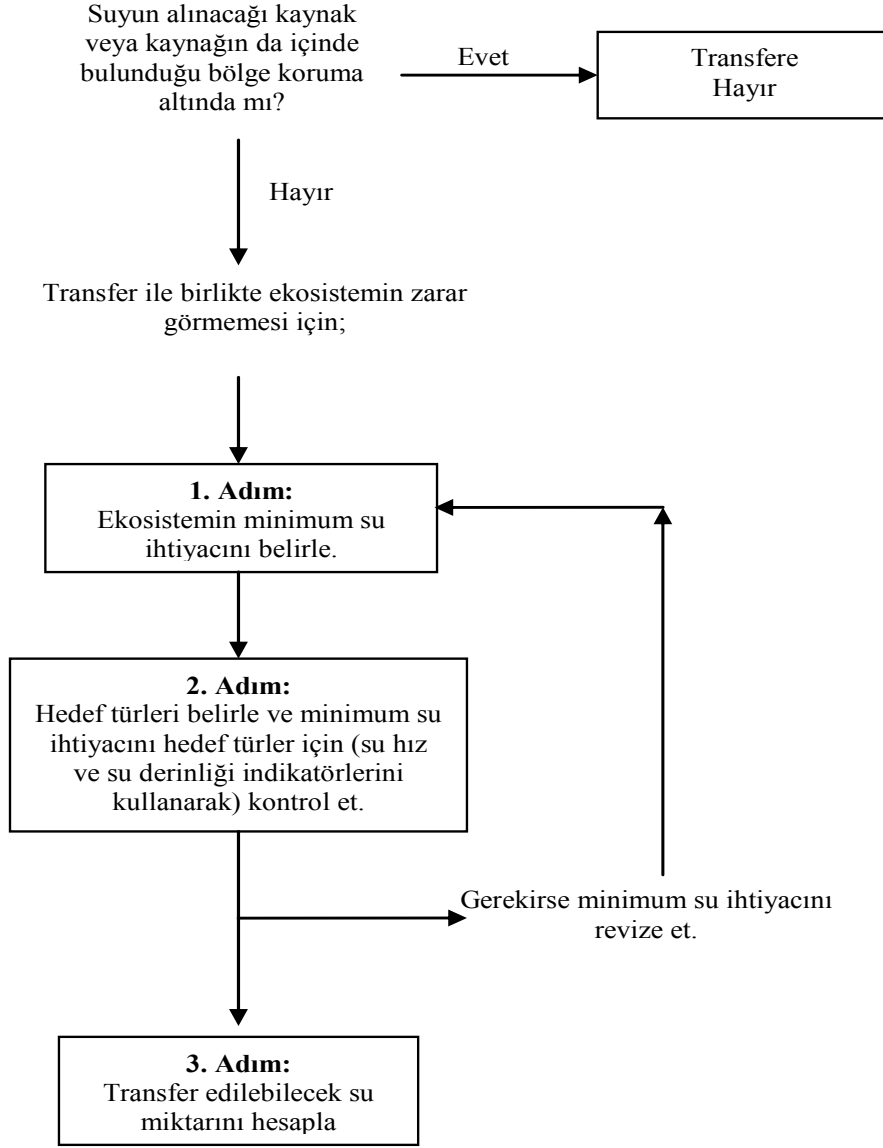
- Türkiye'nin veri birikimine uygun olması,
- hızlı bir değerlendirme yapmaya olanak vermesi,
- kompleks olmayan basit bir yaklaşım içermesi,
- güvenilir olması

özelliklerini taşıması hedeflenmiştir. Yukarıda sıralanan ilkeler doğrultusunda iki aşamalı bir

destek sistemi önerilmiştir: Birinci aşama; su ihtiyacın karşılanması için alternatif su kaynaklarının irdelendiği aşamadır. Kentsel atık suların geri kazanılarak yeniden kullanılması, desalinizasyon, yağmur suyu hasadı ve talep yönetimi gibi alternatifler detaylı bir şekilde bu aşamada incelenmeli ve "transfer" kararı bundan sonra verilmelidir (Bkz. Şekil 1a). Bu konu su kaynakları yönetiminin temel konusu olup, bu çalışmada incelenmemiştir. İkinci aşama; "transfer" kararının değerlendirildiği aşamadır. Bu aşamada yapılacak çalışmalar transferin yine de yapılıp yapılmayacağı, transfer yapılacak ise ne kadar suyun transfer edilebileceği, transferin biçimi (geçici transfer, sürekli transfer) vb. konular hakkında kararların verilmesine yardımcı olmaktadır. Bu aşamada yapılacak çalışmalar şematik olarak Şekil 1b' de gösterilmiş ve gerekli açıklamalar aşağıdaki bölümlerde yapılmıştır.



Şekil 1a. Havzalar arası su transferi için birinci aşama karar verme süreci



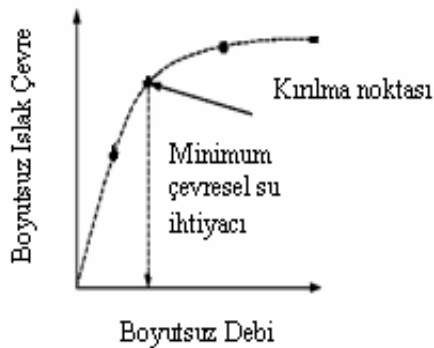
Şekil 1b. Havzalar arası su transferi için ikinci aşama karar verme süreci

Çevresel/ekosistem su ihtiyacının ıslak çevre metoduyla belirlenmesi

Herhangi bir nehir ekosisteminin ihtiyaç duyduğu su miktarı literatürde “çevresel/ekosistem su ihtiyacı” olarak tanımlanmakta ve bu ihtiyaç çeşitli metotlarla hesaplanabilmektedir. Çevresel/ekosistem su ihtiyacının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar 1970’li yıllar da başlamıştır. Basit metotlardan bilimsel temelleri iyi geliştirilmiş ve yaygın kullanım alanı bulmuş daha karmaşık metotlara doğru bir gelişme yaşanmıştır.

Genellikle ekonomik açıdan değeri olan (balıkçılık faaliyeti) akarsularda çevresel/ekosistem su ihtiyacının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmış ve bu nedenle balıkların yaşamları için gerekli olan su miktarı tüm nehir ekosisteminin ihtiyacı olarak tanımlanmıştır. Ancak son yıllarda diğer canlı gruplarını (omurgasızlar, su kuşları vb.), ekosistemin yapısını (su kanalının formu, bitki örtüsü ve taşkın alanları), nütrient dinamiğini ve birincil üretimi de dikkate alan yeni metotlar geliştirilmiştir (Davis ve Hijri, 2003).

Islak Çevre Metodu'nda; nehir yatağının genişleyerek su hızının ve su derinliğinin azaldığı kritik kesitlerde ıslak çevre (akarsu yatağının suyla temas halindeki çevresi) ile debi arasındaki ilişkiden yararlanır. Bu amaçla boyutsuz debi ve boyutsuz ıslak çevre büyüklükleri söz konusu kesite ait eşel enkesit parametrelerinden yararlanılarak hesaplanır ve bu iki parametre Şekil 2'de gösterildiği gibi grafiğe aktarılır. Grafiğin kırılma noktasına karşılık gelen boyutsuz debi değerinden yararlanılarak hesaplanan debi, minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacı olarak tanımlanır. Kırılma noktasından önce debide meydana gelen küçük değişimler ıslak çevrede dolaşımı ile sucul canlıların yaşam alanlarında büyük değişimlere neden olmaktadır. Kırılma noktasından sonra ise debide meydana gelen büyük değişimler ıslak çevrede çok az değişime (ihmal edilebilir) neden olmaktadır. Bu yaklaşımda kritik kesitte ekosistem için yeterli yaşam alanı sağlanabiliyor ise nehrin diğer bölümlerinde de ekosistem için uygun koşulların sağlanabildiği varsayılır. Bu nedenle ekosistemin sürekliliği için, en az kırılma noktasına karşılık gelen debi sistemde bulunmalıdır. Kırılma noktası boyutsuz ıslak çevre-debi eğrisinin eğiminin bire eşit olduğu nokta olarak tanımlanmaktadır. Islak çevre ile debi arasında matematiksel bir ilişki kurulduktan sonra kırılma noktası çok kolay bir biçimde belirlenmektedir.



Şekil 2. Islak çevre-debi ilişkisi

Bu metotta ıslak çevre, canlıların yaşam alanını temsil eden önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Islak Çevre Metodu'nun çok kapsamlı bir alan çalışmasını gerektirmemesi, kullanımının kolay olması ve hızlı bir hesaplama

yapmaya olanak sağlaması gibi avantajları vardır. Metot kapsamında hidrolik modelleme teknikleri de kullanılabilir. Bununla birlikte metot ile sadece minimum çevresel su ihtiyacı hesaplanabilmektedir. Bu nedenle nehirde su çekilmesi durumunda ekosistemin nasıl etkileneceği ve bu etkinin şiddeti ve büyüklüğü belirlenmemektedir (Marotz ve Muhlfield, 2000; AMEC, 2003; Parker ve Armstrong, 2004; Reinfelds vd., 2004; King vd., 1999).

Diğer metotlar ile çevresel/ekosistem su ihtiyacının hesaplanması

Islak çevre yöntemi dışında kullanımı kolay olan Tennant Metodu ve ABF Metodu ile de hesaplamalar yapılabilir. Ancak bu metotların güvenilirlikleri oldukça azdır. Tennant Metodu'nda Tablo 1'de verilen yüzdeler kullanılarak Ekim-Mart (su yılının ilk yarısı) ve Nisan-Eylül (su yılının ikinci yarısı) dönemleri için bir nehir sisteminde bulunması gereken su miktarı farklı ekosistem kalite sınıfları için hesaplanabilmektedir (King vd., 1999; Davis ve Hijri, 2003).

Tablo 1. Tennant metodu'nda farklı kalite sınıfları için kullanılan yüzdeler (Davis ve Hijri, 2003)

Ekosistem için Kalite Sınıfı	Ekim-Mart Döneminde Önerilen (Aylık Ortalama Akımların %)	Nisan-Eylül Döneminde Önerilen (Aylık Ortalama Akımların %)
Mükemmel	60-100	60-100
Çok İyi	40	60
İyi	30	50
Orta	20	40
Vasat	10	30
Kötü	10	10
Çok Kötü	0-10	0-10

ABF Metodu'nda (Aquatic Base Flow Metodu) ise önce aylık ortalama debi değerleri bulunur. Daha sonra aylık ortalama debisi minimum olan ay belirlenir. Bu aya ait aylık ortalama debi ABF Metodu'na göre minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacı olarak tanımlanır. Bu yöntemde balıkların yumurtlama ve kuluçka devri süresince ilave suya ihtiyaç duymayacakları varsayılmaktadır (King vd., 1999).

Hesaplanan çevresel/ekosistem su ihtiyacının hedef türler için kontrolü

Islak çevre metodu ile hesaplanan minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacının, hedef türlerin su ihtiyacını karşılayıp karşılayamayacağı bu aşamada kontrol edilmelidir. Yapılan araştırmalar sucul canlıların su hızı ve su derinliği konusunda seçici davrandıklarını göstermektedir (Lamouroux, 1999). Bu nedenle kontrol parametresi olarak su hız ve su derinliği seçilmiştir. Bu kontrolün yapılabilmesi için ilk olarak hedef türler belirlenmelidir. Hedef türlerin belirlenebilmesi için ise ilk önce su transferinin yapılacağı nehir/dere/çay ekosisteminde bulunan canlı türleri tespit edilmelidir. Bu amaçla literatürden yararlanılabilir. Eğer herhangi bir bilgi yok ise türlerin tespiti için gerekli arazi/izleme çalışmaları yapılmalıdır. Daha sonra minimum su ihtiyacının doğrulanmasında kullanılacak hedef türler aşağıda verilen üç kritere göre seçilmelidir:

- **Koruma altında olan canlı türleri:** Türkiye'nin de Bakanlar Kurulu kararı ile taraf olduğu "Avrupa'nın Yaban Hayatı ve Yaşama Ortamlarını Koruma Sözleşmesi" nin ekleri bu amaçla kullanılabilir.
- **Ekonomik değeri olan canlı türleri:** Bölge ekonomisine doğrudan katkıda bulunan türler de hedef tür olarak seçilebilir. Türkiye tatlı sularında bulunan ve ekonomik değeri olan belli başlı canlı türleri arasında Aynalı Sazan (*Cyprinus carpio*), Turna Balığı (*Esox lucius*), Yayın Balığı (*Silurus glanis*), Sudak (*Stizostedion lucioperca*), Yılan Balığı (*Anguilla anguilla*), Alabalık türleri (*Salmo trutta*, *Salmo trutta macrostigma*, *Salmo trutta abanticus* vd.), Kefal (*Mugil cephalus*), Kerevit (*Mytilus gallaprovencialis*), Kara Salyangozu (*Helix pomatia*) ve Kurbağa (*Rana dibunda*) yer almaktadır.
- **Nehirde su transferinin yapılacağı yer:** Akarsuyun kaynağı ile denize döküldüğü yer arasında son derece farklı fiziksel koşullar vardır. Bu farklı fiziksel koşullar nedeniyle akarsuların membasından mansabına doğru gidildikçe farklı türlere rastlanmaktadır. Bu nedenle transfer uygulamalarında su alma

noktasının konumu transferden etkilenebilecek canlı gruplarını da belirlemektedir.

Hedef türler seçildikten sonra bunlar için uygun su hızı ve su derinliği belirlenmelidir. Hidrobiyologlar tarafından çeşitli türler için bu konuda çok sayıda çalışma yapılmış ve yayımlanmıştır. Eğer bu konuda herhangi bir bilgiye ulaşılamaz ise arazi çalışmaları ile hedef türler için söz konusu bilgiler üretilmelidir. Bu bilgilerin üretilmesi oldukça uzun bir arazi çalışmasını gerektirmektedir. Ayrıca bu çalışmaların maliyeti oldukça yüksektir. Yine seçilen hedef tür ile ilgili herhangi bir literatür bilgisine ulaşılamaz ise hidrobiyologlar ile bu konuda bir çalıştay düzenlenerek kullanılabilir veriler üretilebilir.

Daha sonra Islak Çevre Metodu ile hesaplanan debiye karşılık gelen su hızı ve su derinliği o kesite ait anahtar eğrisinden yararlanılarak hesaplanmalıdır. Elde edilen sonuçlar hedef türlerin gereksinimleri ile karşılaştırılmalıdır.

Minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacının revizyonu

Islak Çevre Metodu ile belirlenen minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacı yukarıda açıklanan yaklaşımlar çerçevesinde irdelenerek ele alınan nehir sistemi için artırılmak sureti ile revize edilebilir. Söz konusu düzeltme, ele alınan nehir sisteminde belirlenen hedef türler için su hızı ve su derinliği kriterlerini sağlayacak şekilde yapılmalıdır.

Transfer edilebilecek su miktarının hesaplanması

Önerilen sistemin son aşaması transfer edilebilecek su miktarının hesaplanmasıdır. Türkiye'de akarsular genellikle kar ve yağmur suyu ile beslenmekte ve akarsuların debisi yağışlı mevsimlerde yüksek olmaktadır. Buna karşılık yazın birçok akarsuyun debisi oldukça azalmakta veya akarsu tamamen kurumaktadır. Bu nedenle özellikle yaz aylarında ekosistem için kritik durumların oluşmasını önleyebilmek için transfer edilebilecek su miktarı her ay için ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Örnek uygulama: Büyük Melen Su Transfer Projesi

Büyük Melen Su Transfer Projesi ile ilk aşamada Büyük Melen Çayı'ndan yılda 268 milyon m³, üçüncü aşama sonunda ise yılda 1 milyar 190 milyon m³ suyun İstanbul'a transfer edilmesi planlanmaktadır. Toplam uzunluğu 185 km'yi bulan bir iletim hattı ile şehre yılda 268 milyon m³ ilave su sağlayacak olan Büyük Melen sisteminin birinci aşaması ile yaklaşık 2.75 milyon ek bir nüfusun içme ve kullanma suyu ihtiyacı karşılanmış olacaktır. Projenin toplam maliyeti 1 milyar 181 milyon dolardır.

Büyük Melen Çayı'nın da içinde yer aldığı Efteni Havzası güneyde ve batıda Sakarya Nehri Havzası ile sınırlanmış olup, kuzeyde Karadeniz, doğuda Yedigöller'e kadar uzanmaktadır. Türkiye'nin en verimli ovalarından Düzce Ovası ile Bolu Dağı orman alanları havza içerisinde yer almaktadır. Havza alanı yaklaşık 2300 km² dir. Havzada kış ve bahar ayları ılıman ve yağışlı geçerken yaz mevsimi genellikle sıcak ve kurak geçmektedir. Bölge halkı tarımın yanında hayvancılıkla da uğraşmaktadır. Havza içinde orman alanlarının varlığı nedeni ile orman ürünleri işleyen fabrika ve işkolları çok gelişmiştir. Ayrıca Düzce ilindeki organize sanayi bölgesinde çeşitli sanayi kolları faaliyet göstermektedir. Çalışma alanının konumu Şekil 3'te gösterilmiştir (Karakaya, 2000).

Büyük Melen Çayı'nın çevresel/ekosistem su ihtiyacının belirlenmesi

Islak Çevre Yöntemi ile minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacının belirlenmesi amacı ile Büyük Melen Çayı üzerinde Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Su İşleri'ne (DSİ) ait izleme istasyonları incelemiş ve EİE' ye ait 1340 nolu izleme istasyonunun gerekli hesaplamalar için kullanılmasına karar verilmiştir. Söz konusu istasyon planlanan su alma noktasının membasında yer almaktadır. Bu istasyona ait eşel enkesit parametreleri (Bkz. Tablo 2) ve yine aynı istasyonda 1981–2000 yılları arasında gözlemlenen aylık ortalama akımlar (Bkz. Tablo 3) EİE'den temin edilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanı

Tablo 2. EİE'nin 1340 nolu istasyonuna ait eşel enkesit parametreleri

Q (m ³ /s)	Eşel Seviye (m)	Alan (m ²)	Islak Çevre (m)	Ortalama Derinlik (m)
2.550	0.50	28.31	42.72	0.750
15.30	1.00	48.77	49.17	1.143
62.00	1.50	70.84	53.54	1.558
123.00	2.00	94.80	61.28	1.835
195.00	2.50	121.67	66.80	2.187
270.00	3.00	154.07	77.72	2.281
350.00	3.50	188.21	80.68	2.739
435.00	4.00	222.77	83.12	3.205

Tablo 2'de listelenen verilerden yararlanılarak ıslak çevre ve debi değerleri boyutsuz hale getirilmiş ve sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir. Bu amaçla Tablo 2'de debi kolonunda verilen değerler o kolondaki maksimum debi değerine (435 m³/s), ıslak çevre kolonunda verilen değerler ise o kolondaki maksimum ıslak çevre değerine (83.12 m) bölünmüştür. Tablo 4'de verilen boyutsuz debi ile boyutsuz ıslak çevre arasındaki ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3. 1981–2000 yılları arasında EİE'nin 1340 nolu istasyonunda gözlemlenen aylık ortalama akımlar

Aylar	Maksimum Debi (m ³ /s)	Ortalama Debi (m ³ /s)	Minimum Debi (m ³ /s)
Ocak	126.00	67.41	28.90
Şubat	139.00	80.55	39.20
Mart	182.00	93.19	47.40
Nisan	204.00	94.39	18.80
Mayıs	164.00	52.74	15.90
Haziran	105.00	31.40	10.70
Temmuz	61.90	21.77	5.57
Ağustos	48.20	14.63	5.00
Eylül	32.80	13.89	5.06
Ekim	64.60	23.20	8.56
Kasım	102.00	37.36	10.70
Aralık	111.00	63.42	13.10

Tablo 4. Boyutsuz ıslak çevre ve boyutsuz debi değerleri

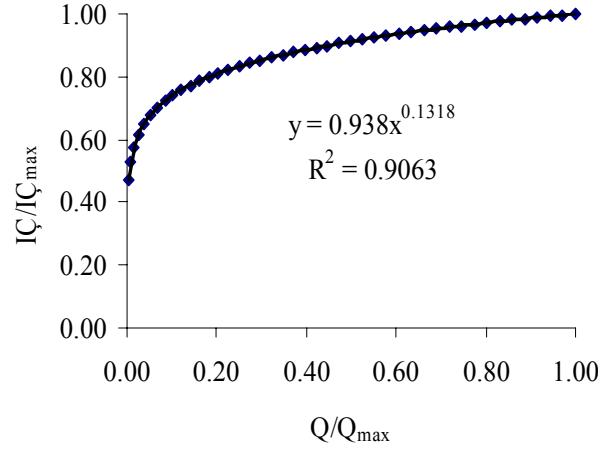
Boyutsuz Debi (Q/Q _{max})	Q (m ³ /s)	Islak Çevre (m)	Boyutsuz Islak Çevre (İÇ/İÇ _{max})
0.01	2.55	42.72	0.51
0.04	15.30	49.17	0.59
0.14	62.00	53.54	0.64
0.28	123.00	61.28	0.74
0.45	195.00	66.80	0.80
0.62	270.00	77.72	0.94
0.80	350.00	80.68	0.97
1.00	435.00	83.12	1.00

Boyutsuz debi ile boyutsuz ıslak çevre arasındaki matematiksel ilişki

$$\frac{İÇ}{İÇ_{max}} = 0.938 \left(\frac{Q}{Q_{max}} \right)^{0.1318} \quad (1)$$

olarak elde edilmiştir. (1) denkleminin boyutsuz debi değerine göre birinci türevinin 1'e eşitlenmesi ile kırılma noktasına karşılık gelen boyutsuz debi değeri (Q/Q_{max}) 0.09 olarak bulunmuştur. Q_{max}=204 m³/s olduğu için (Bkz. Tablo 3); Q_e ≈ 18 m³/s olarak hesaplanmıştır. Bu debi is-

lak Çevre Metoduna göre ekosistemin ihtiyaç duyduğu minimum su debisidir.



Şekil 4. Islak çevre-debi arasındaki ilişki

Hedef türler

Büyük Melen Çayı'nda; ekonomik değeri, koruma statüsü ve nehirde su alınacak nokta dikkate alınarak Noktalı İncibalığı (*Alburnoides bipunctatus*), Tatlısu Kefali (*Leuciscus cephalus*), Kolyoz Balığı (*Chalcalburnus chalcoides*), Pullu Sazan (*Cyprinus carpio*), Saçaklı Siraz (*Capoeta capoeta*), Bıyıklı Balık (*Barbus plebejus*), Turna Balığı (*Esox Lucius*), Yayın Balığı (*Silurus Glanis*) ve Kefal Balığı (*Mugil cephalus*) hedef tür olarak seçilmiştir. Hedef türlerin tercih ettiği yaşam alanlarına ilişkin bilgiler Tablo 5'te verilmiştir.

Hesaplanan minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacın hedef türler için irdelenmesi

Islak Çevre Metodu ile hesaplanan debiye karşılık gelen su hız ve su derinliği anahtar eğrisinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu amaç ile Tablo 2'de verilen ve EİE'nin 1340 nolu istasyonuna ait eşel enkesit parametreleri kullanılmış ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Söz konusu en kesitte su derinliği ve debi arasındaki ilişki Şekil 5'de verilmiştir. Su hızı ve debi arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacı ile Tablo 2'de verilen alan ve debi değerlerinden yararlanılmıştır. Su hızının hesaplanması için:

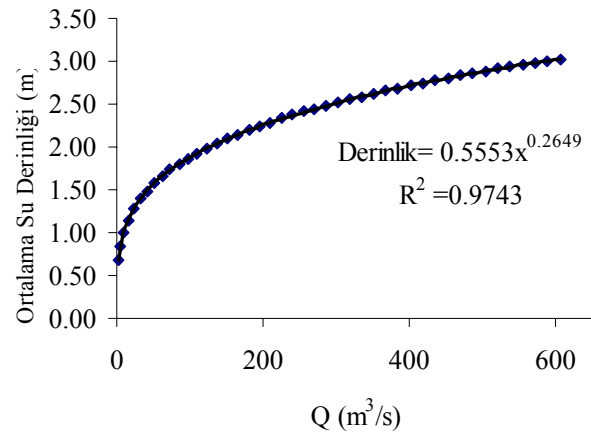
$$Q=A \cdot V \quad (2)$$

Tablo 5. Hedef türlerin habitat gereksinimi

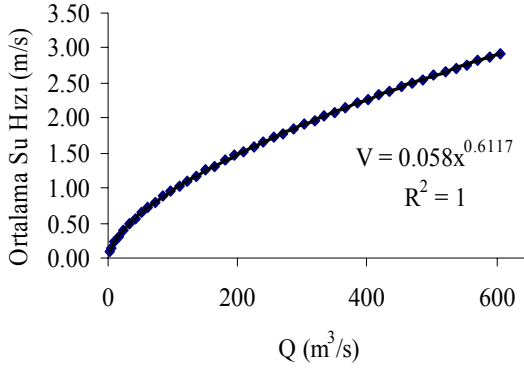
Bilimsel Adı	Ortam	Tercih Ettiği Su Hızı (m/s)	Tercih Ettiği Su Derinliği (m)	Kaynak
<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Noktalı İncibalığı)	Taşlık ve çakıllı zeminleri tercih eder. Zaman zaman akıntıya karşı yüzerek yaşar. Yumurtalarını suların hareketli olduğu bölgelerdeki çakıllar üzerine bırakır.	0.05–0.2	0.4–0.8	Geliday vd., 1999; Lamouroux vd., 1999
<i>Leuciscus cephalus</i> (Tatlısu Kefali)	Yumurtalarını genellikle çakıllı bölgelere bırakır.	<0.05	0.4–0.8	Geliday vd., 1999; Lamouroux vd., 1999
<i>Chalcalburnus chalcoides</i> (Kolyoz Balığı)	Yumurtalarını hızlı akan akarsuların zeminlerindeki taş ve çakılların üzerine bırakır.	Veri yok	Veri yok	Geliday vd., 1999
<i>Cyprinus carpio</i> (Pullu Sazan)	Su hızının düşük olduğu yerleri tercih eder. Yumurtalarını zemini bitki ile kaplı oldukça sakin ve sığ su ortamlarına bırakır.	<0.2	<0.5	Geliday vd., 1999; Edwards ve Twomey, 1982
<i>Capoeta capoeta</i> (Saçaklı Siraz)	Veri yok	Veri yok	Veri yok	-
<i>Barbus plebejus</i> (Bıyıklı Balık)	Su hızının yüksek olduğu yerleri ve kumlu zeminlerini tercih eder.	Veri yok	Veri yok	Geliday vd., 1999
<i>Esox lucius</i> (Turna Balığı)	Akarsuların Abramis zonunda yaşar. Su hızının düşük olduğu sazlık ve otluk bölgeleri tercih eder.	<0.05	>0.8	Geliday vd., 1999; Inskip, 1982; Lamouroux vd., 1999
<i>Silurus glanis</i> (Yayın Balığı)	Akarsuların Abramis zonunda yaşar. Yavaş akan suların çamurlu zeminlerini tercih eder.	Veri yok	Veri yok	Geliday vd., 1999
<i>Mugil cephalus</i> (Kefal Balığı)	Üreme ortamları olarak genellikle fazla derin olmayan temiz suları tercih eder.	Veri yok	Veri yok	Geliday vd., 1999

bağıntısı kullanılmıştır. Burada, Q; su debisini (m^3/s), A; enkesit alanını (m^2), V; su hızını (m/s) göstermektedir. Hesaplanan su hızı ile debi arasındaki ilişki Şekil 6'da verilmiştir. Ortalama su derinliği-debi, ortalama su hızı-debi arasındaki matematiksel ilişkiden yararlanılarak Islak Çevre Metodu ile hesaplanan çevresel/ekosistem su ihtiyacına karşılık gelen debi için ($18 m^3/s$) su derinliği ve su hızı sırası ile 1.20 m ve 0.34 m/s olarak hesaplanmıştır.

EİE'nin 1340 nolu istasyonuna ait kesitte maksimum, minimum, ortalama ve Islak Çevre Metoduna göre hesaplanan debi için su derinliği ve su hızı Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Ortalama su derinliği-debi arasındaki ilişki



Şekil 6. Ortalama su hızı-debi arasındaki ilişki

Tablo 6. Maksimum, minimum, ortalama ve ıslak çevre metoduna göre hesaplanan debi için su derinliği ve su hızı

	Q (m ³ /s)	Su hızı (m/s)	Su derinliği (m)
Maksimum	204	1.50	2.27
Ortalama	50	0.64	1.57
Minimum	5	0.16	0.85
Ekosistem su ihtiyacı	18	0.34	1.20

Minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacının revizyonu

Büyük Melen sisteminde bulunan ve hedef tür olarak belirlenen türlerin tamamı su hızı düşük, sığ suları yaşam alanı olarak tercih ettiği söylenebilir (Bkz. Tablo 5). Bu nedenle Islak Çevre Metodu ile hesaplanan debi söz konusu hedef türlerin yaşam alanlarının (su hızı ve su derinliği için) tahrip olmasını önleyecek miktardadır. Minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacında herhangi bir revizyon bu nedenle yapılmamıştır.

Transfer edilebilecek su miktarı

Büyük Melen Çayı'ndan sucul ekosistemi tahrip etmeden transfer edilebilecek su miktarı Tablo 7'de verilmiştir.

Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan hesaplamalar ve incelemeler ekosistem kalitesinin bozulmaması için su alma noktasının mansabında Büyük Melen Çayı su debisinin minimum 18 m³/s olması gerektiğini göstermektedir. Büyük Melen Projesi ile ilk aşamada ortalama 8.50 m³/s suyun transfer edilmesi plan-

lanmıştır. Bu nedenle Temmuz ayında 3.40 m³/s, Ekim ayında 4.84 m³/s su çekilmesi, Ağustos ve Eylül aylarında ise sistemden kesinlikle su çekilmemesi şartı ile projenin ilk aşamasının hidrobiyolojik parametreler açısından önemli bir etki yapmayacağı sonucuna varılabilmektedir. Projenin son aşamasında Mayıs ayında 34.74 m³/s, Haziran ayında 13.40 m³/s, Temmuz ayında 3.40 m³/s, Ekim ayında 4.84 m³/s su çekilmesi, Ağustos ve Eylül aylarında ise sistemden kesinlikle su çekilmemesi şartı ile projenin son aşamasının hidrobiyolojik parametreler açısından önemli bir etki yapmayacağı sonucuna varılabilir. Bu şartlar altında Büyük Melen Çayı'nda transfer edilebilecek su miktarı ortalama 32 m³/s olmaktadır. Proje tamamlandığında transfer edilecek su miktarının yaklaşık 37.50 m³/s olması öngörülmektedir. Bu su miktarı, bu sistemde ekosistem kalitesinde önemli bir değişiklik yapmadan transfer edilebilecek su miktarından oldukça fazladır. Bu şartların yerine getirilmemesi durumunda proje tamamlandığında Büyük Melen Çayı ekosistemi önerilen karar destek sistemine göre zarar görecektir. Büyük Melen Çayı'nda sadece tek bir en kesit kullanılarak Islak Çevre Metodu ile minimum çevresel/ekosistem su ihtiyacı belirlenmiştir. Bu kesit planlanan su alma noktasının membasında yer almaktadır. Bu nedenle söz konusu su alma noktasının mansabında bir kesitte daha hesaplamalar yapılmalıdır.

Tablo 7. Büyük Melen Çayı'nda transfer edilebilecek su miktarı

Aylar	Ortalama Debi (m ³ /s)	Transfer Edilebilecek Su Miktarı* (m ³ /s)
Ocak	67.41	49.41
Şubat	80.55	62.55
Mart	93.19	75.19
Nisan	94.39	76.39
Mayıs	52.74	34.74
Haziran	31.40	13.40
Temmuz	21.77	3.400
Ağustos	14.63	-
Eylül	13.89	-
Ekim	23.20	4.840
Kasım	37.36	19.36
Aralık	63.42	45.42

*Transfer edilebilecek su miktarı aylık ortalama debiden minimum ekosistem/çevresel su ihtiyacının (18 m³/sn) çıkarılması ile bulunmuştur.

Bu çalışmada konunun çevresel boyutu sadece hidrobiyolojik parametreler açısından ele alınmıştır. Özellikle su kalitesi, su miktarı kadar sucul canlılar için önemli bir parametredir. Çevresel/ekosistem su ihtiyacının temin edilmesi şartı ile transferin gerçekleştirilmesi durumunda su alma noktasının mansabında su kalitesinin mevcut kirletici yükler altında nasıl değişeceği mutlaka araştırılmalıdır. Bu nedenle önerilen destek sisteminin su kalite yönetimi ile bütünleştirilmesine ihtiyaç vardır. Konunun ekonomik ve sosyal boyutu ile de ele alınarak araştırılması gerekmektedir. Özellikle suyun alındığı havzada suyun ekonomik değerini ortaya çıkartarak transfer uygulaması ile meydana gelebilecek doğrudan veya dolaylı ekonomik kayıpların belirlenebilmesi için yöntemlerin araştırılması ve geliştirilmesi karar vericiler için yararlı olacaktır.

Kaynaklar

- AMEC Earth and Environment Limited, (2003). Wetted perimeter assessment Shoal Harbour River, Shoal Harbour, Clarenville Newfoundland, NF, TF05205.
- Edwards, E., A., Twomey, K., (1982). Habitat suitability index model: common carp, U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-82/10.12.
- Davis, R., Hijri, R., (2003). Water resources and environment technical note c1, environmental flows: concepts and methods, The World Bank, Washington.
- Geliday, R., Balık, S., (1988). Türkiye tatlısu balıkları, Ege Üniversitesi Fen. Fak. Yayınları, No:97, İzmir.
- Inskip, P., D., (1982). Habitat suitability index model: northern pike, U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-82/10.17.
- Karakaya, N., (2000). Efteni havzasında su kalitesi yönetimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- King, J., Tharme, R.,E., Brown, C., (1999). Definition and implementation of instream flows, Final Report, World Commission on Dams.
- Lamouroux, N., Capra, H., Pouilly, M., Souchon, Y., (1999). Fish habitat preferences in large streams of southern France, *Freshwater Biology*, 42, 673–687.
- Marotz, B., Muhlfield C., (2000). Evaluation of minimum flow requirements in the South Fork Flathead river downstream of Hungry Horse dam, Montana, 19–19–3, Bonneville Power Administration.
- Parker, G., W., Armstrong, D., S., (2004). Comparison of methods for determining streamflow requirements for aquatic habitat protection at selected sites on the assabet and Charles rivers, Eastern Massachusetts, 2000–02, USGS, Scientific Investigations Report 2004–5092.
- Reinfelds I., Haeusler, T., Brooks, A., J., Williams, S., (2004). Refinement of the wetted perimeter breakpoint method for setting cease-top-pump limits or minimum environmental flows, *River Research and Applications*, 20, 671–685.
- Summary Statement of Interbasin Water Transfer, (1999). *Interbasin Water Transfers, Proceedings of the International Workshop*, Paris, April 25–27.