

Bu yayınlı ilgili tartışmalara, istatistiklere ve yazar profillerine şu adresten bakabilirsiniz: <https://www.researchgate.net/publication/226814925>

Havza Hidrolojisi, Çevre, Yaşam ve Politikaya Dayalı Entegre Bir Gösterge: Havza Sürdürülebilirlik Endeksi

Water Resources Management'da **Makale** - Mayıs 2007

DOI: 10.3007/s11269-006-9807-2

ATIFLAR

267

OKUYUN

1,784

2 yazar, dahil olmak üzere:



Henrique Chaves

Brasília Üniversitesi

32 YAYIN 609 ATIF

PROFİLE BAKIN

Bu yayının yazarlarından bazıları aynı zamanda bu ilgili projeler üzerinde de çalışmaktadır:



araştırma Projeği görüntüle

Havza Hidrolojisi, Çevre, Yaşam ve Politika için Entegre Bir Gösterge: Havza Sürdürülebilirlik Endeksi

Henrique M.L. Chaves* & Suzana Alipaz **

*Teknoloji Okulu, Brasilia Üniversitesi & **Brezilya Ulusal Su Ajansı-ANA

Özet: Bir nehir havzasının su sürdürülebilirliğini etkileyen çeşitli konular vardır. Bunlar arasında sosyal, ekonomik ve çevresel konular da yer almaktadır. Ancak bu konular genellikle ayrı ayrı ele alınmakta ve entegre, dinamik bir süreç olarak değerlendirilmemektedir. Hidrolojik, çevresel, yaşam ve politika konularının yanı sıra mevcut baskıları ve politika tepkilerini tek bir nicel, dinamik ve toplu göstergede bütünleştirmek için, bir baskı-devlet-tepki fonksiyonu kullanan bir havza sürdürülebilirlik endeksi (WSI) geliştirilmiştir. Brezilya'da 2.200 km² uzunluğunda bir Unesco-HELP gösteri havzasına (S.F. Verdadeiro) uygulanan WSI için hesaplanan değer 0,65 olup, havza sürdürülebilirliğinin orta seviyesini temsil etmektedir.

Anahtar kelimeler: hidroloji, çevre, yaşam, politika, havza sürdürülebilirlik endeksi, S.F. Verdadeiro, HELP havzası.

1. GİRİŞ

Bir nehir havzasının su sürdürülebilirliğini etkileyen çeşitli konular vardır. Bunlar arasında sosyal, ekonomik ve çevresel meseleler de bulunmaktadır. Ancak bu konular genellikle ayrı ayrı ele alınmakta ve entegre, dinamik bir süreç olarak değerlendirilmemektedir (Viessman, 1990).

Ayrıca, entegre ve çevresel açıdan sürdürülebilir su yönetimi, sadece çevresel etki değerlendirmelerinin yapılmasından daha fazlasını gerektirir. Politika oluşturma, proje değerlendirme, sağlam su yönetimi yasaları ve kurumları ile tatlı su kaynaklarının kullanımına ilişkin karar verme sürecinin nefes alma ve derinliği boyunca entegrasyonunu gerektirir (Smith & Rast, 1998).

Yakın zamanda Unesco'nun Uluslararası Hidroloji Programı (International Hydrologic Program-IHP) hidroloji, çevre, yaşam ve politika konularını içeren bir çerçeve benimsemiştir. Bu (HELP platformu), farklı havza paydaşlarının etkili ve entegre eylemlerini engelleyen "paradigma kilidinin" kırılması amaçlanmaktadır (UNESCO, 2005). Geçtiğimiz yıl, dünya çapında 60'tan fazla operasyonel ve demonstrasyon amaçlı HELP havzası mevcuttu ve su kaynakları yönetimi deneyimlerinin paylaşılması için bir platform sağlıyordu.

Bu çalışmanın amacı hidrolojik, çevresel, yaşam ve su politikası konularını ve yanıtlarını içerebilecek entegre bir endeks geliştirmektir. Endeksin geliştirilmesinde literatürde yer alan çeşitli gösterge kriterleri takip edilmiştir. Endeksin uygulanabilirliğini göstermek için WSI, Güney Brezilya'da Unesco-HELP operasyonel havzası olan S.F. Verdadeiro havzasına uygulanmıştır.

2. HİDROLOJİ, ÇEVRE, YAŞAM VE POLİTİKA KONULARININ TEK BİR SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ENDEKSİNDE BİRLEŞTİRİLMESİ

Sürdürülebilirlik değerlendirmeleri yetki sınırlarını aşmalıdır. Doğal su kaynakları planlama birimi olmalarına rağmen, havzalar genellikle siyasi yönetimle uyumlu değildir (Nyerges, 2002). Bununla birlikte, havzalar nadiren planlama ve yönetim birimi olarak kullanılır.

Belirli bir havzadaki su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin hidrolojik, çevresel, yaşam ve politika koşullarıyla doğrudan ilişkili olduğu kabul edilmesine rağmen, bunları tek ve karşılaştırılabilir bir sayıya entegre etmek için çok az girişimde bulunulmuştur. Entegre endeksler araştırma ve planlama amacıyla kullanılmaktadır. Birleşmiş Milletler birkaç yıldır İnsani Gelişim Endeksini (Human Development Index-HDI) (UNDP, 1998) kullanmaktadır. Bu endeks belediyeler, eyaletler ve ülkeler için eğitim, yaşam beklentisi ve gelir bilgilerini bir araya getirmektedir. 0 ile 1 arasında değişen HDI'nin kullanımı basit, sağlam ve dünya çapında uygulanmaktadır.

Dünya ülkelerindeki su kıtlığının tahmin edilmesini amaçlayan Lawrence ve diğerleri (2002) bir Su Yoksulluğu Endeksi (Water Poverty Index-WPI) geliştirmiştir. 0 ile 100 arasında değişen bu endeks, su kaynakları, erişim, kullanım ve çevre ile ilgili bilgileri gösterge olarak kullanmaktadır. Yazarlar WPI'yi çeşitli ülkelere uygulamış, ancak HDI ile yüksek korelasyon gösterdiğini tespit etmişlerdir ($R=0.81$). TEFE'nin bir varyasyonu da ülkelerin, bölgelerin ve toplulukların su kaynaklarına ilişkin kırılganlığını tahmin eden İklim Değişkenliği Endeksidir (Meigh & Sullivan, 2005). Her iki endeks de bütünleştirici olmasına rağmen, göstergeleri öznel ve havzaya özgü değildir.

Daha yakın zamanda, bir Çevresel Sürdürülebilirlik Endeksi (ESI) önerilmiştir (Esty & Levy, 2004). Bu endeks 21 gösterge ve 76 değişkenden oluşan 5 bileşen kullanmaktadır. Birçok ülkeye uygulanmış olmasına rağmen, gösterge ve değişken sayısının fazla olması, veri kıtlığı olan bölgelerde uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Havzaya özgü olmamasının yanı sıra, yukarıdaki endeksler neden-sonuç ilişkilerini dikkate almamakta veya belirli bir dönemde belirli bir havzada uygulanan politika tepkilerini göz önünde bulundurmamaktadır.

Sürdürülebilirlik göstergeleri ve parametreleri, faydalı olabilmeleri için bazı temel kriterleri karşılamalıdır. HCTF'ye (2003) göre, havza göstergeleri şunlar olmalıdır:

- Mevcut: Gösterge verileri mevcut ve kolay erişilebilir olmalıdır. Havza genelinde toplanmalı, rutin olarak yayınlanmalı ve halkın kullanımına sunulmalıdır;
- Anlaşılabilir: göstergeler teknik olmayan çeşitli kitleler tarafından kolayca anlaşılabilir olmalıdır;
- İnandırıcı: göstergeler geçerli ve güvenilir bilgilerle desteklenmeli ve bilimsel olarak savunulabilir bir şekilde yorumlanmalıdır;
- İlgili: göstergeler yönetimdeki ve su havzasındaki faaliyetlerdeki değişiklikleri yansıtmalıdır. Zaman içindeki değişiklikleri ölçebilmelidirler;
- Bütünleştirici: göstergeler sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik yönleri arasındaki bağlantıları göstermelidir.

Ayrıca, öznellikten kaçınmak için nitel endeksler yerine mümkün olduğunca nicel göstergeler veya parametreler tercih edilmelidir. Su havzalarına uygulandığında, yukarıdaki kriterleri karşılayan göstergelerden oluşan bir endeks evrensel olarak uygulanabilir ve bu da nehir havzalarındaki su kaynaklarının sürdürülebilirliğini belirlemede yararlılıklarını önemli ölçüde artıracaktır.

Su yönetiminin dinamik bir süreç olduğu göz önünde bulundurularak ve bir havzanın su sürdürülebilirliğinin hidrolojisinin (H), çevresinin (E), yaşamının (L) ve politikasının (P) bir fonksiyonu olduğu varsayılarak, bu dört göstergeye (H, E, L, P) bir matris şemasında dinamik, baskı-durum-tepki modeli (OECD, 2003) uygulanmıştır. Sonuç olarak, bir havza sürdürülebilirlik endeksi (watershed sustainability index-WSI) elde edilmiştir. Sayısal olarak WSI şu şekilde verilir:

$$WSI = (H+E+L+P) / 4 \quad [1]$$

Burada WSI (0-1) havza sürdürülebilirlik endeksi; H (0-1) hidrolojik gösterge; E (0-1) çevre göstergesi; L (0-1) yaşam (geçim) göstergesi; ve P (0-1) politika göstergesidir. Denklem [1]'den de görüldüğü üzere, aksi yönde bir kanıt olmadığı için tüm göstergeler aynı ağırlığa sahiptir (Harr, 1987).

Denklem [1]'in doğrusal ve eklemeli yapısı, göstergelerdeki hataların telafi edilmesine olanak tanıyarak WSI'nin alt ve üst tahmin potansiyelini azaltmaktadır. Bunun arkasındaki mantık, denklem [1]'deki göstergelerden birinin fazla tahmin edilmesi durumunda, diğerinin düşük tahmin edilme ihtimalinin yüksek olması ve genel hatanın (en azından) bir kısmının telafi edilmesidir. Bu, model geliştirmede önemli bir konudur, ancak modelleyiciler tarafından genellikle göz ardı edilir (Chaves & Nearing, 1991).

Yerel ve bölgesel düzeyde havza yönetimi 2.500 km²'ye kadar olan havzalarda daha etkili olduğundan (Schueler, 1995), havza sürdürülebilirliğinin tahmininde WSI uygulaması için önerilen üst sınır budur.

Aşağıdaki Tablo 1'de dört göstergenin (H,E,L,P) her birine ilişkin WSI parametreleri sunulmaktadır. Bunlar da *Baskı*, *Durum* ve *Tepki* olmak üzere 3 sütuna ayrılmıştır. PSR modeli kullanmanın avantajı, neden-sonuç ilişkilerini içermesi ve paydaşlar ile karar alıcıların parametreler arasındaki bağlantıları görmelerine yardımcı olmasıdır (OECD, 2003).

Tablo 1. Havza Sürdürülebilirlik Endeksi Havza Sürdürülebilirlik Endeksi göstergeleri ve parametreleri

	<i>Basınç</i>	<i>Eyalet</i>	<i>Yanıt</i>
Göstergeler	<i>Parametreler</i>		
Hidroloji	- Son 5 yılda havzanın <i>kişi başına düşen</i> su değişim; - Havzadaki BOİ5 değişimi (son 5 yıl)	- Havzada <i>kişi başına düşen</i> su miktarı - Havza BOİ5 (yıllık ortalama)	- Su kullanım verimliliğinde iyileşme (son 5 yıl); - Kanalizasyon arıtma/bertarafında iyileşme (son 5 yrs.)
Çevre	- Havza EPI (Kırsal ve kentsel)	- Doğal bitki örtüsüne havza alanının %'si	- Havza korumada evrim (Korunan alanlar, BMP'ler)
Yaşam	- Son 5 yılda havzada <i>kişi başına düşen</i> GSYH'deki değişim	- Havza İGE (ilçe nüfusuna göre ağırlıklandırılmış)	- Havza İGE'sindeki gelişim (son 5 yıl)
Politika	- Son 5 yılda havza İGE-Ed'sindeki değişim	- WRM'de havza kurumsal kapasitesi	- Havzanın WRM harcamalarındaki evrim son 5 yıl

Her bir gösterge ve parametre kombinasyonuna 0 ile 1 arasında bir değer atanır. Daha kötü seviyelere 0.25, optimum koşullara ise 1.00 değeri atanır. Tüm WSI parametrelerinin seviyeleri ve değerlerinin tam açıklaması sırasıyla Tablo 2, 3 ve 4'te sunulmuştur.

Tablo 2. WSI Basınç parametreleri. WSI Basınç parametrelerinin, seviyelerinin ve değerlerinin açıklaması.

Gösterge	<i>Basınç Parametreleri</i>	<i>Seviye</i>	<i>Değer</i>
Hidroloji	$\Delta 1$ - Son 5 yılda havzada <i>kişi başına düşen</i> su değişim (m ³ /kişi.yıl)	$\Delta 1 < -10\%$ $-10\% < \Delta 1 < 0\%$ $0 < \Delta 1 < +\%10$ $\Delta 1 > +\%10$	0.25 0.50 0.75 1.00
	$\Delta 2$ - Havzadaki BOİ5 değişimi (son 5 yıl)	$\Delta 2 > 10\%$ $0 < \Delta 2 < 10\%$ $-10\% < \Delta 2 < 0\%$ $\Delta 2 < -\%10$	0.25 0.50 0.75 1.00
Çevre	- Havza E.P.I. (Kırsal ve kentsel)	$EPI > \%10$ $\%10 < EPI < \%5$ $5 < EPI < \%0$ $EPI < \%0$	0.25 0.50 0.75 1.00
Yaşam	- Son 5 yılda havzada <i>kişi başına düşen</i> İGE-Inc'deki değişim	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0 < \Delta < +\%10$ $\Delta > +10\%$	0.25 0.50 0.75 1.00
Politika	- Son 5 yılda havza İGE-Ed'sideki değişim	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0 < \Delta < +\%10$ $\Delta > +10\%$	0.25 0.50 0.75 1.00

Tablo 3. WSI Durumu parametrelerinin, seviyelerinin ve değerlerinin açıklaması.

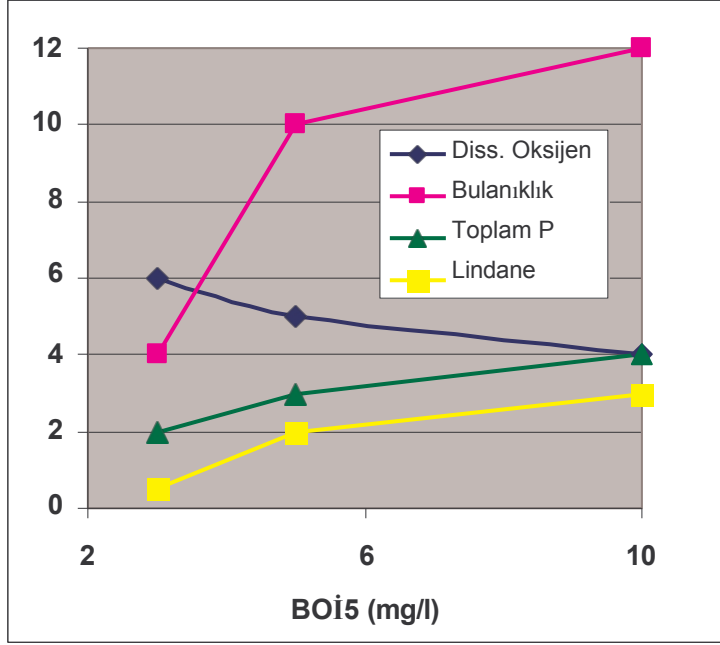
Gösterge	Durum Parametreleri	Seviye	Değer
Hidroloji	- Havzada kişi başına düşen su miktarı (m ³ /kişi.yıl)	Wa < 1.700 1700<Wa<3.400 3400<Wa<5,100 Wa>5,100	0.25 0.50 0.75 1.00
	- Havza Ave. BOİ _(s) (mg/l)	BOD>10 10<BOD<5 5<BOD<3 BOİ<3	0.25 0.50 0.75 1.00
Çevre	- Doğal bitki örtüsü altındaki havza alanının %'si (Av)	0< Av< 10 10< Av< 25 25< Av< 40 Av> 40	0.25 0.50 0.75 1.00
Yaşam	- Havza İGE (ilçe nüfusuna göre ağırlıklandırılmış)	HDI <0,6 0,6<HDI<0,75 0,75<HDI<0,9 HDI >0,9	0.25 0.50 0.75 1.00
Politika	- WRM'de havza kurumsal kapasitesi (yasal ve örgütsel)	Zayıf Orta İyi Mükemm el	0.25 0.50 0.75 1.00

Tablo 4. WSI Yanıt parametrelerinin WSI Yanıt parametrelerinin, seviyelerinin ve değerlerinin açıklaması.

Gösterge	Yanıt Parametreleri	Seviye	Değer
Hidroloji	- Su kullanım verimliliğinde iyileşme (son 5 yıl)	Zayıf Orta İyi Mükemm el	0.25 0.50 0.75 1.00
	- Yeterli kanalizasyon arıtma/ bertarafında iyileşme (son 5 yıl)	Zayıf Orta İyi Mükemm el	0.25 0.50 0.75 1.00
Çevre	- Son 5 yılda havza koruma alanlarındaki (Korunan alanlar BMP'ler) gelişim.	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0 < \Delta < +10\%$ $\Delta > +10\%$	0.25 0.50 0.75 1.00
Yaşam	- Havza İGE'sindeki gelişim (son 5 yıl)	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0 < \Delta < +10\%$ $\Delta > +10\%$	0.25 0.50 0.75 1.00
Politika	- Havzanın WRM harcamalarının son 5 yıldaki gelişimi	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0 < \Delta < +10\%$ $\Delta > +10\%$	0.25 0.50 0.75 1.00

Hidroloji göstergesinde, biri su miktarına diğeri de su kalitesine ilişkin olmak üzere 2 değişken seti bulunmaktadır. *Su miktarı* durumunda, parametre yıllık kişi başına düşen su mevcudiyetidir. Falkenmark & Widstrand'a (1992) göre su stresi, su mevcudiyeti 1.700 m³/kişi.yıl'ın altına düştüğünde ortaya çıkar. Bu nedenle, kişi başına su mevcudiyetinin 4 seviyesi kullanılmıştır: a) $W_a < 1,700 \text{ m}^3/\text{inhab.yr}$, b) $1,700 < W_{(a)} < 3,400$; c) $3,400 < W_{(a)} < 5,100$; ve d) $W_{(a)} > 5,100 \text{ m}^3/\text{person.yr}$, sırasıyla zayıf, orta, iyi ve mükemmel su mevcudiyetine karşılık gelmektedir.

Su kalitesi söz konusu olduğunda, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ($BOI_{(5)}$, mg/l) bilgisi genellikle su havzalarında mevcut olduğundan ve diğer önemli su kalitesi verileriyle (çözülmüş oksijen, bulanıklık) yüksek korelasyonu nedeniyle kalite parametresi olarak seçilmiştir. Besin maddeleri ve pestisitlerden kaynaklanan kirlilik gibi noktasal olmayan yüklemeler genellikle yüksek BOI değerleriyle ilişkilendirilir. Şekil 1, $BOI_{(5)}$ ile diğer su kalitesi parametreleri arasındaki korelasyonu göstermektedir.



Şekil 1. Su kalitesi parametrelerinin Su kalitesi parametrelerinin maksimum tolerans limitlerinin BOI_5 ile korelasyonu (normalize edilmiş değerler). Kaynak: Brezilya. Çevre Ulusal Konseyi Res. # 357/05.

En son su mevcudiyeti bilgilerini (5 yıl) uzun vadeli ortalama ile karşılaştırdığından, hidrolojik *Basınç* parametreleri, belirli koşullarda su havzalarındaki su mevcudiyetini önemli ölçüde etkileyebilecek nihai iklim değişkenliği/değişikliği etkilerini dahil etme avantajına sahiptir.

Tablo 2'de **Çevre** göstergesi için *Basınç* parametresi, havzadaki tarımsal alan ve kentsel nüfusun 5 yıllık bir dönemdeki ortalama değişimi (yüzde olarak) ile tahmin edilen *Çevre Basınç Endeksidir* (*Environment Pressure Index-EPI*). Belirli bir havzadaki tarımsal ve kentsel alanların oranı su kalitesiyle ilişkilidir (Hunsaker & Levine, 1995) ve tarım ve nüfus sayımlarından elde edilmesi kolaydır.

Burada kullanılan EPI, Sawyer (1997) tarafından geliştirilen Antropik Basınç Endeksi'nin bir modifikasyonudur. EPI, 5 yıllık bir dönem için tahmin edilmiş ve şu şekilde verilmiştir:

$$EPI = (\text{havza tarım alanının } \% \text{ değişimi} + \text{havza kentsel nüfusunun } \% \text{ değişimi}) / 2 \quad [2]$$

EPI pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Pozitif değerler havzanın kalan doğal bitki örtüsü üzerinde daha yüksek baskı olduğunu gösterir (*Çevresel Durum*). Bu *durum* parametresi de flora ve fauna biyoçeşitliliği ile yüksek oranda ilişkilidir ve havzanın genel çevresel bütünlüğünün bir göstergesidir.

WSI'nin **Yaşam** parametreleri havza insani kalkınma endeksi-HDI (*Devlet* sütununda) ve bunun 5 yıllık dönemdeki gelişimidir (*Yanıt*). *Basınç* parametresi, İGE-Gelir'in % değişimi, yani havzadaki kişi başına düşen gelirin incelenen 5 yıllık dönemdeki değişimi ile verilir. Bu parametrenin negatif değerleri nüfusun fakirleştiğini ve bunun tersinin de havzanın kaynaklarını ve sürdürülebilirliğini etkileyeceğini göstermektedir.

Politika parametreleri konusu olduğunda, *Baskı*, incelenen 5 yıllık dönemde havza *İGE-Eğitim* göstergesindeki değişim tarafından verilmektedir. Bu gösterge nüfusun eğitim seviyesini ölçtüğünden, HDI-Ed'nin pozitif değerleri havza nüfusunun WRM'ye daha katılımcı hale geldiğini ve bunun da karar vericiler üzerinde daha fazla baskı oluşturduğunu gösterir.

Devlet politikası parametresi, yeterli yasal ve kurumsal çerçevenin yanı sıra katılımcı yönetim düzeyi ile verilen WRM'deki mevcut havza kurumsal kapasitesini yansıtmaktadır. Endeksin birkaç niteliksel parametresinden biridir ve zayıf (0.25) mükemmel (1.0) arasında değişmektedir.

Tepki parametresi, incelenen 5 yıllık dönemde havza WRM harcamalarındaki gelişime göre tahmin edilmektedir. Bu, havza paydaşları tarafından karar vericilere uygulanan baskıyı yansıtmaktadır. WRM harcamaları arttıkça, havzanın suyla ilgili hedeflerine ulaşma şansı da artmaktadır.

Tüm göstergeler elde edildikten ve baskı, durum ve tepkiler için 5 yıllık bir dönem seçildikten sonra, WSI denklem [1]'e göre hesaplanır. WSI'nin avantajı, çerçevesinin iklim değişkenliği de dahil olmak üzere farklı zaman dilimlerinde ve senaryolarda havza sürdürülebilirliğinin karşılaştırmalı ölçümelerini sağlamasıdır.

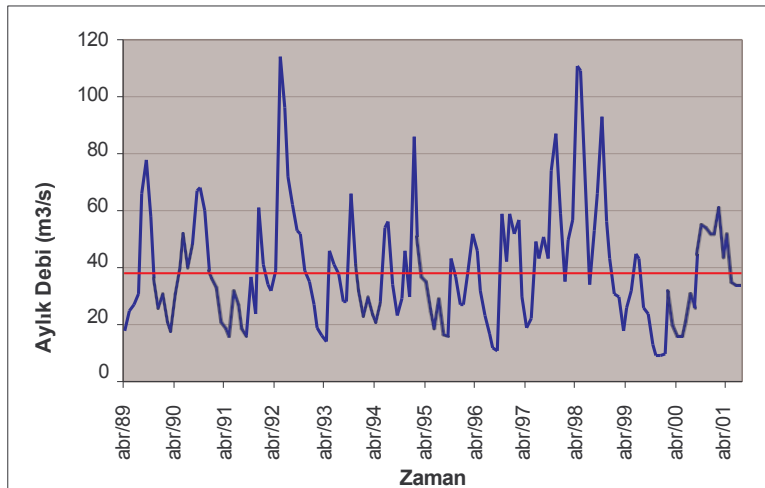
3. WSI'NİN S.F. VERDADEIRO NEHRİ HAVZASINA UYGULANMASI

WSI'nin kullanımını örneklemek için, Güney Brezilya'da 2.200 km² genişliğinde bir su havzası olan SF Verdadeiro Nehir havzasına uygulanmıştır. Çalışılan dönem, çevresel ve sosyal verilerin mevcut olduğu 1996 ve 2000 yılları arasındaki 5 yıldır. WSI 4 göstergeden oluştuğu için, her biri ayrı ayrı sunulacak ve sonunda genel sürdürülebilirlik endeksi hesaplanacaktır.

3.1 Hidroloji Göstergesi

Hidroloji göstergesi basitçe havzanın miktar ve kalite parametrelerinin ortalamasıdır. Miktar alt göstergesi söz konusu olduğunda, havzadaki baskın su kullanımı yüzey suyu olduğundan, kişi başına düşen su mevcudiyeti (*Devlet*) basitçe uzun vadeli nehir ortalama debisinin havza nüfusuna bölünmesiyle elde edilir.

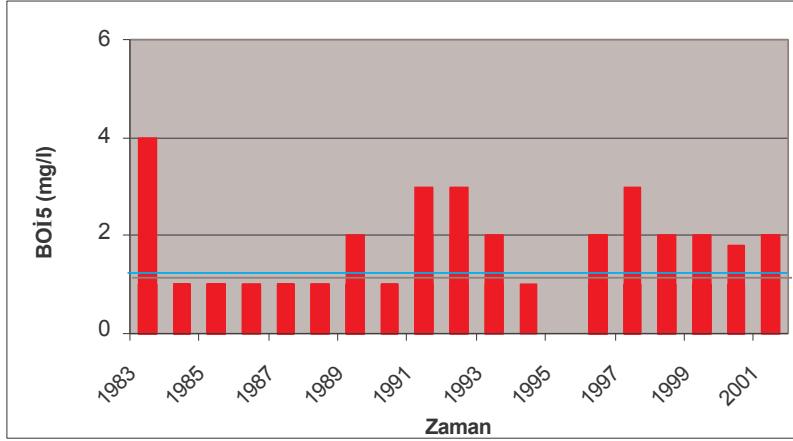
Şekil 2'de SF Verdadeiro nehrinin aylık ortalama debileri gösterilmekte olup uzun dönem ortalaması 39 m³/s'dir. Toplam 167.083 kişilik havza nüfusuna (2000 yılı bazında) bölündüğünde, kişi başına düşen su mevcudiyeti (*Wa*) 33.600 m³/kişi.yıl'dır. Tablo 4'e göre, *Devlet* miktarı parametresi için değer 1.0'dır (mükemmel).



Şekil 2. SF Verdadeiro Nehri SF Verdadeiro nehrinin aylık akış hızları ve uzun vadeli ortalama akış hızı.

Basınç parametresi söz konusu olduğunda, incelenen 5 yıllık dönemde uzun vadeli ortalamaya göre $W_{(a)}$ değişim + %4,8 olmuştur. Bu, Tablo 2'ye göre, 0,75'lik bir basınç değeriyle sonuçlanır. *Tepki* durumunda, ele alınan 5 yıllık dönemde havzada su kullanım verimliliğinde orta düzeyde bir iyileşme olmuştur ve bu da 0,5 değerine karşılık gelmektedir. Bu nedenle, miktar için ortalama *Basınç*, *Durum* ve *Tepki* parametreleri $(1.0 + 0,75 + 0,5) / 3 = 0,75$.

Kalite alt göstergesi konusu olduğunda, *Basınç* 5 yıllık dönemde havzadaki $BOİ_5$ değişimine (+%4,6) karşılık gelir ve Tablo 3'e göre 0,5 değerini verir. Kalite için *Durum* parametresi (havzanın $BOİ_5$ uzun vadeli ortalaması) 1.3 mg/l'ye eşittir (Şekil 3). Bu da *Devlet* değerinin 1.0 olmasıyla sonuçlanır.



Şekil 3. Düşük SF Verdadeiro nehrindeki yıllık $BOİ_5$ değerleri, uzun dönem ortalaması 1,3 mg/l'dir.

Kalite alt göstergesi için *Yanıt* 0,25 değeriyle sonuçlanmıştır (incelenen 5 yıl içinde kanalizasyon arıtma/bertarafında zayıf gelişme). Dolayısıyla kalite alt göstergesi $(0,5 + 1,0 + 0,25) / 3 = 0,58$ 'dir.

Dolayısıyla, genel Hidroloji gösterge değeri basitçe miktar ve kalite alt göstergelerinin ortalamasıdır veya $(0,75 + 0,58) / 2 = 0,67$ 'dir.

3.2 Çevre Göstergesi

Hidroloji göstergesine benzer şekilde, *Çevre* göstergesi de *Basınç*, *Durum* ve *Tepki* parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır. *Basınç* durumunda, incelenen dönemde tarımsal alan ve kentsel nüfustaki birleşik havza değişimi (artış) sırasıyla %13 ve %9 olup, $(\%13 + \%9) / 2 = \%11$ 'lik bir EPI değeri vermiştir. Bu da 0,25'lik bir çevresel *Basınç* değerine karşılık gelmektedir.

Çevresel *durum* söz konusu olduğunda, havza 2000 yılında orijinal bitki örtüsünün %26'sına sahipti ve bu da Tablo 3'e göre 0.75 değeriyle sonuçlanmaktadır. Bir havzada kalan doğal bitki örtüsü uzaktan algılama teknikleriyle (örneğin NDVI) ya da dolaylı olarak tarım sayımlarıyla tahmin edilebilir.

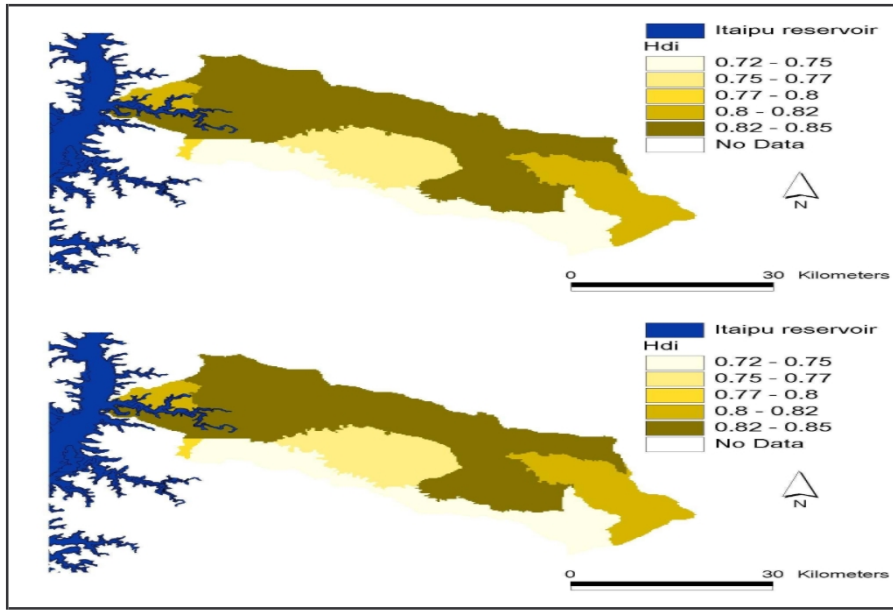
Çevresel *Tepki* (korunan alanlardaki ve BMP'li alanlardaki gelişim) havzada %2'dir ve Tablo 4'e göre 0,75'lik bir değerle sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, *Çevre* göstergesi için birleşik değer $(0.25 + 0.75 + 0.75) / 3 = 0.58$ olmuştur.

3.3 Yaşam Göstergesi

Havzadaki Yaşam *Baskısı*, havzanın İGE-Gelir alt endeksinin 5 yıllık dönemdeki (1996-2000) değişimi ile tahmin edilmiştir. Bu dönemde İGE- Inc'de %3.4'lük bir artış olmuştur (UNDP, 2004) ve Tablo 3'e göre 0.75 (İyi) değeri ile sonuçlanmıştır.

Life *State* örneğinde, incelenen dönemin son yılında (2000) havza İGE değeri 0.81 olup, Tablo 4'e göre 0.75'lik bir değer elde edilmiştir. Şekil 4, 2000 yılında SF Verdadeiro havzasındaki İGE dağılımını vermektedir. Havzanın genel İGE değeri, her bir belediyenin ve ilgili nüfusun İGE değerlerinin tartılı ortalamasıdır.

Yaşam *Tepkisi*, yani havzadaki WRM harcamalarının gelişimi, 5 yıllık dönemde %5'tir ve bu da 0,75'lik bir parametre değeri ile sonuçlanır (Tablo 5). Dolayısıyla, havza için birleşik geçim kaynağı değeri $(0,75+0,75+0,75)/3 = 0,75$ olmuştur.



Şekil 4. SF Verdadeiro havzasında SF Verdadeiro havzasında İnsani Gelişim Endeksinin (2000 bazlı) mekansal dağılımı.

3.4 Politika Göstergesi

Havza için politika *Baskı* düzeyi (5 yıllık dönemde HDI-Ed'deki değişim) +%6,3 olup, parametre değeri 0,75'tir (Tablo 3). Bu, havzanın eğitim seviyesinde önemli bir artış olduğunu ve bunun da havzada WRM'ye yönelik müdahaleler için baskı oluşturmaya yardımcı olacağını göstermektedir.

Politika *Durumu* parametresine (havza kurumsal kapasitesi) gelince, yasal bir çerçeve mevcut olmasına rağmen (federal ve eyalet su ve çevre yasaları ve yönetmelikleri), incelenen dönemde katılımcı su kaynakları yönetimi konusunda çok az şey başarılmıştır. SF Verdadeiro havzasında, yasalara göre havza düzeyinde su yönetiminden sorumlu kurum olan bir havza komitesi ya da organizasyonu hala bulunmamaktadır. Sonuç olarak, havza bu maddede 0,25'lik bir parametre seviyesi ile zayıf olarak değerlendirilmiştir.

Politika *Tepkisi* ile ilgili olarak, WRM'deki havza harcamalarındaki gelişim 5 yıllık dönemde +%5 olmuştur ve bu parametre için 0.75 değeri elde edilmiştir. Genel Politika göstergesi 3 parametrenin ortalamasıdır, yani $(0.75+0.25+0.75) / 3 = 0.58$.

3.5 Havza Sürdürülebilirlik Endeksi

WSI basitçe 4 göstergenin küresel ortalamasıdır. Denklem [2] uygulandığında SF Verdadeiro havzası için 0,65 WSI değeri elde edilmektedir. Aşağıdaki Tablo 5'te havzanın seviyeleri, değerleri ve genel WSI değeri sunulmaktadır.

Tablo 5. Parametreler için seviyeler ve değerler ve havza WSI.

	<i>Basınç</i>		<i>Eyalet</i>		<i>Yanıt</i>		<i>Sonuç</i>
	<i>Seviye</i>	<i>Değer</i>	<i>Seviye</i>	<i>Değer</i>	<i>Seviye</i>	<i>Değer</i>	
Hidroloji	4.8%	0.75	33,600	1.00	Orta	0.50	
	4.6%	0.50	1.3	1.00	Zayıf	0.25	
		0.63		1.00		0.38	0.67
Çevre	11%	0.25	26%	0.75	2%	0.75	0.58
Yaşam	3.4%	0.75	0.81	0.75	5.1%	0.75	0.75
Politika	6.3%	0.75	Zayıf	0.25	5%	0.75	0.58
<i>Sonuç</i>		0.59		0.70		0.66	0.65

UNDP'nin İGE'sine benzer bir sınıflandırma kullanıldığında (İGE <0,5 için düşük, İGE 0,5 ile 0,8 arasında orta ve İGE >0,8 için yüksek), SF Verdadeiro havzası için elde edilen WSI (0,65) orta seviyede yer alacaktır. Tablo 5'e göre en düşük değere sahip göstergeler *Politika* ve *Çevre* (0.58), en yüksek değer ise *Yaşam* (0.75) göstergeleridir.

Baskı, Durum ve Tepki göstergeleri açısından en düşük değer Baskı için (0,59), en yüksek değer ise Durum için (0,70) elde edilmiştir. Bu durum, mevcut havza koşullarının (*Durum*) iyi olmasına rağmen, havzanın sürdürülebilirliğini tehdit eden baskıların özellikle çevresel olduğunu göstermektedir.

Daha spesifik olarak, Tablo 5'teki en zayıf gösterge kombinasyonları Çevresel *Baskı* (0.25), *Politika Durumu* (0.25) ve *Hidroloji Tepkisi* (0.38). Dolayısıyla, küresel havza sürdürülebilirliğini iyileştirmek için, paydaşlar ve karar vericiler sırasıyla kalan bitki örtüsü üzerindeki baskıyı azaltmak, WRM kurumsal kapasitesini artırmak ve havzadaki kanalizasyon artırımını iyileştirmek için daha etkin çalışmalıdır.

Dinamik özellikleri nedeniyle, farklı zaman dilimlerine uygulandığında, WSI havzanın sürdürülebilirliğinin yıllar içindeki gelişimi hakkında bir fikir verebilir, paydaşlara ve karar vericilere planlama ve karar verme süreçlerinde yardımcı olabilir ve havzanın su kaynakları için uyarlanabilir bir yönetim aracı sağlayabilir.

4. SONUÇLAR

Bir nehir havzasının su sürdürülebilirliğini etkileyen çeşitli konular vardır. Bunlar arasında sosyal, ekonomik ve çevresel meseleler de yer almaktadır. Ancak bunlar genellikle ayrı ayrı ele alınmakta ve entegre, dinamik bir süreç olarak değerlendirilmemektedir. Hidrolojik, çevresel, yaşam ve politika konularının yanı sıra mevcut baskıları ve politika tepkilerini tek bir nicel, dinamik ve toplu göstergede bütünleştirmek amacıyla nehir havzaları için bir havza sürdürülebilirlik endeksi (WSI) geliştirilmiştir. Bu endeks basit, sağlam ve hazır parametreler kullanmaktadır. Dinamik özellikleri, havza sürdürülebilirliğini etkileyen insan, çevre ve iklimle ilgili baskıların ve tepkilerin tahmin edilmesini sağlar.

SF Verdadeiro havzasına 1996 ve 2000 yılları arasında uygulanan WSI, 0.65'lik bir küresel değerle sonuçlanmıştır ki bu da orta düzeyde bir sürdürülebilirliği temsil etmektedir. Bu havzadaki karar vericilerin dikkat etmesi gereken hususlar *Çevresel Baskı*, *Politika Durumu* ve *Hidroloji Müdahalesi* ile ilgili olanlardır.

5. REFERANSLAR

- Chaves, H.L. & Nearing, M.A. (1991). WEPP toprak erozyonu modelinin belirsizlik analizi. Trans. of the ASAE, vol. 34(6): 2437-2444, St. Joseph.
- Esty, D. & M. Levy (2005). Çevresel Sürdürülebilirlik Endeksi: Ulusal Çevre Yönetiminin Kıyaslanması. New Haven, CT, 40 s.
- Falkenmark, M. & C. Widstrand (1992). Nüfus ve su kaynakları: Hassas bir denge. Pop. Bull. Pop. Referans Bürosu, Washington.
- Habitat Koruma Güven Fonu-HTCF (2003). Mission Creek Sürdürülebilir Havza Göstergeleri Çalışma Kitabı. British Columbia, 22 s.
- Harr, M. E. (1987). İnşaat Mühendisliğinde güvenilirliğe dayalı tasarım. McGraw-Hill, N. York.
- Heathcote, I. W. (1998). Entegre Havza Yönetimi: İlkeler ve uygulama. J. Wiley, NY, 414 s.
- Hunsaker, C.T. & D.A Levine (1995). Nehirlerdeki su kalitesi çalışmalarına hiyerarşik yaklaşımlar. BioScience Cilt 45: 193-203.
- Lawrence, P., J. Meigh, & C. Sullivan (2003). Su Yoksulluğu Endeksi: Uluslararası Karşılaştırmalar. Wallingford, 9 s.
- Meigh, J. & C. Sullivan (2004). değişikliklerine karşı kırılganlığı değerlendirmek için İklim Değişkenliği Endeksinin kullanılması. CEH Wallingford, 2p.
- Nyerges, T. (2002). Sürdürülebilirlik modellemesinde bağlantılı görselleştirmeler: Karar desteği için katılımcı CBS kullanan bir yaklaşım. Assoc. Am. Geog. Illust., Los Angeles. 18 p.
- OECD (2003). OECD Çevresel Göstergeleri: Geliştirme, ölçüm ve kullanım. *Referans belgesi*, Paris, 50 s.
- Sawyer, D. (1997). Savana bölgeleri için Antropik Baskı Endeksi. Brasilia, 20 s.
- Schueler, T. (1995). Kentsel akarsu koruması için alan planlaması. Metropolitan Washington Hükümetler Konseyi, Washington.
- Smith, D. & W. Rast (1998). Uluslararası olarak paylaşılan tatlı su kaynaklarının çevresel olarak sürdürülebilir yönetimi ve kullanımı, Reimold, R. (ed.): Havza yönetimi. McGraw-Hill, NY, s. 277-297.
- UNDP (1998). İnsani Gelişme Raporu. Lizbon, 228 s. (*Portekizce*).
- UNESCO (2005). Çevre, Yaşam ve Politika için Hidroloji -HELP (Broşür). Paris, 20 s.
- Viessmann, W. (1990). Doksanlı yıllar için su yönetimi sorunları. W. Res. Bull. 26(6): 886- 891.