



Madde

Aksu Nehri Havzasında Evapotranspirasyona Bağlı İklim ve Arazi Kullanım Değişiminin Tepki Mekanizmasının İncelenmesi

Çete Zheng¹, Guanghui Wei^{1,*}, Fanghong Han^{2,3,*}, Yan Cao^{2,3} ve Fan Gao^{2,3}¹ Sincan Tarım Nehri Havzası Otoritesi, Korla 841000, Çin; hlp_xaut@163.com² Hidrolik ve İnşaat Mühendisliği Fakültesi, Sincan Tarım Üniversitesi, Urumqi 830052, Çin; cycaoyan1998@163.com (YC); gutongfan0202@163.com (FG)³ Xinjiang Hidrolik Mühendisliği Güvenlik ve Su Afetleri Önleme Anahtar Laboratuvarı, Urumqi 830052, Çin

* Yazışma: wgh12358@163.com (GW); hanfanghong2021@163.com (FH); Tel.: +86-199-1337-8603 (FH)

Soyut:Aksu Nehri Havzası'ndaki evapotranspirasyon ve bunun itici güçlerinin iklim değişikliği ve arazi kullanımı perspektifinden araştırılması, su kaynaklarının etkin kullanımı ve hassas tahsisini teşvik etmek için büyük önem taşımaktadır. Theil-Sen medyan eğilim analizi (TS) ve Mann-Kendall parametrik olmayan testi (MK), korelasyon analizi, kısmi korelasyon analizi, karmaşık korelasyon analizi ve itici faktör bölgeleme ilkelerine ek olarak, evapotranspirasyondaki mekansal ve zamansal değişimlerin özelliklerini incelemek ve evapotranspirasyondaki değişimlerin itici mekanizmasını keşfetmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, Aksu Nehri Havzası'ndaki çok yıllık ortalama evapotranspirasyondaki dalgalanmaların 2001-2020 yılları arasındaki aralığının 481,58 ile 772,37 mm/yıl arasında olduğunu, bunun da havzanın batı ve orta kesiminde yüksek, kuzey ve güneyinde ise düşük olmak üzere mekansal dağılım özelliklerini gösterdiğini ortaya koymuştur. Buharlaşma ve yağış arasındaki pozitif korelasyon daha güçlüydü ve sıcaklık ve bağıl nem ile negatif korelasyonlar daha güçlüydü. Ekili arazideki buharlaşmadaki değişim esas olarak yağış ve bağıl nem tarafından yönlendirilir. Yağış; çayırılar için ana etkenler bağıl nem ve yağış; ormanlık alanlar için başlıca etkenler bağıl nem ve diğer iklim faktörleriydi; diğer arazi tipleri için başlıca etkenler diğer iklim faktörleriydi.

Anahtar kelimeler:MK parametrik olmayan test; Theil-Sen medyan eğilim analizi; arazi kullanım türü; iklim değişikliği; sürüş mekanizması



Alıntı:Zheng, G.; Wei, G.; Han, F.; Cao, Y.; Gao, F. Aksu Nehri Havzasında İklim ve Arazi Kullanım Değişiminin Buharlaşmaya Tepki Mekanizması Üzerine Bir Çalışma. *Atmosfer* **2024**, *15*, 1055. <https://doi.org/10.3390/atmos15091055>

Akademik Editör: Jimmy O. Adegoke

Alındı: 15 Temmuz 2024 Gözden

geçirildi: 9 Ağustos 2024 Kabul

edildi: 26 Ağustos 2024

Yayınlandı: 1 Eylül 2024



Telif Hakkı:© 2024 yazarlar tarafından. Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre. Bu makale, Creative Commons Atıf (CC BY) lisansının (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hüküm ve koşulları altında dağıtılan açık erişimli bir makaledir.

1. Giriş

Buharlaşma, Dünya yüzeyinden alt atmosfere taşınan toplam su buharı akışıdır ve kara-hava-su döngüsünün ve yüzey enerji dengesinin önemli bir bileşenidir [1–3]. Küresel yağışın yaklaşık %60'ı sonunda buharlaşma yoluyla atmosfere geri döner ve bu oran iklim değişikliği nedeniyle artmaktadır [4]. Ayrıca, antropojenik arazi kullanımındaki değişiklikler (örneğin, ekolojik restorasyon ve kentleşme) buharlaşma-terleme süreçlerini değiştirebilir ve böylece suyun dağılımını etkileyebilir [5], su arzı ile talebi arasındaki dengesizliği daha da kötüleştiriyor [6,7]. Evapotranspirasyonun mekansal ve zamansal dağılımının ve değişimlerinin özelliklerini doğru bir şekilde değerlendirmek ve iklim değişikliğinin ve arazi kullanım tipindeki değişimlerin evapotranspirasyon üzerindeki etkilerini araştırmak, bir havza/bölgede su kaynaklarının bilimsel yönetimi ve verimli kullanımı açısından önemli pratik değere sahiptir [8].

Buharlaşma-terleme verileri esas olarak aşağıdaki üç yöntemle elde edilir: yer gözlemleri, model simülasyonları ve uzaktan algılama inversiyonu [9]. Geleneksel evapotranspirasyon izleme yöntemleri, büyük ölçekli bölgesel evapotranspirasyon çalışmalarının gereksinimlerini karşılayamaz [10], özellikle gözlem istasyonlarının seyrek veya eksik olduğu kuzeybatı kurak bölgesinde. Evapotranspirasyon inversiyon verileri uzaktan

Algılama teknolojisi, buharlaşmanın mekansal çeşitliliğini yansıtabilir ve küresel ve bölgesel ölçekli çalışmaların gereksinimlerini karşılayabilir ve bu, büyük ölçekli bölgesel buharlaşmayı izlemek ve buharlaşmadaki mekansal ve zamansal heterojen değişiklikleri değerlendirmek için etkili bir yol haline gelmiştir [11,12]. 2011 yılında, ABD NASA ekibi, Penman-Monteith uzaktan algılama modeli ve MODIS verilerine dayalı küresel karasal buharlaşma-terleme veri setini (MOD16) yayınladı [13]. MOD16 ürünü dünya çapında yaygın olarak kullanılmış olup %86'lık bir doğruluğa ulaşmıştır [14]. Zhang ve diğerleri [15] MOD16'nın performansını birden fazla mekansal ölçekte (yani, saha, havza ve küresel) değerlendirdi ve buharlaşma-terleme simülasyonunun sonuçlarının nispeten tutarlı ve güvenilir olduğunu gösterdi. Sebinasi Dziki ve diğerleri [16] Güney Afrika ormanlarından Penman-Monteith MOD16 ve modifiye edilmiş Priestley-Taylor (PT-JPL) modellerine dayalı evapotranspirasyon test edildi ve MOD16 evapotranspirasyon modelinin daha doğru olduğu gösterildi. Chen ve diğerleri [17] 2007 yılında Lammas Havzası'nın tropikal bölgesindeki 10 istasyondan alınan girdap korelasyon verilerini kullanarak MOD16 ürününün buharlaşma transpirasyon (ET) değerini değerlendirdi ve sonuçlar ürünün havzadaki ET değişimlerini analiz etmek için kullanılabileceğini gösterdi. Yerli bilim insanları, tipik bölgelerde buharlaşma transpirasyonundaki mekansal ve zamansal değişimlerin analizlerinde MOD16 buharlaşma transpirasyon veri setinden yararlandılar. Cheng ve diğerleri [18] Çin'deki evapotranspirasyon üzerinde iklim ve bitki örtüsü tiplerindeki değişikliklerin etkilerini analiz etmek için MODIS evapotranspirasyon ürününe dayalı bir geçiş analitik yöntemi kullandı. Wang ve diğerleri [19] Tarım Nehri'nin ana kolundaki evapotranspirasyonun mekansal ve zamansal değişimlerini MODIS evapotranspirasyon verilerine dayanarak parametrik olmayan testler, R/S kalıcılık analizi ve mekansal analiz tekniklerinin yardımıyla analiz etti. Adilai ve diğerleri [20] İli Nehri Vadisi'ndeki yüzey buharlaşma ve terlemesindeki mekansal ve zamansal değişimleri, mekansal verilerin ve eğilimlerin analizi için istatistiksel bir yöntem kullanarak MOD16 buharlaşma ve terleme ürününe dayanarak nicel olarak analiz etti.

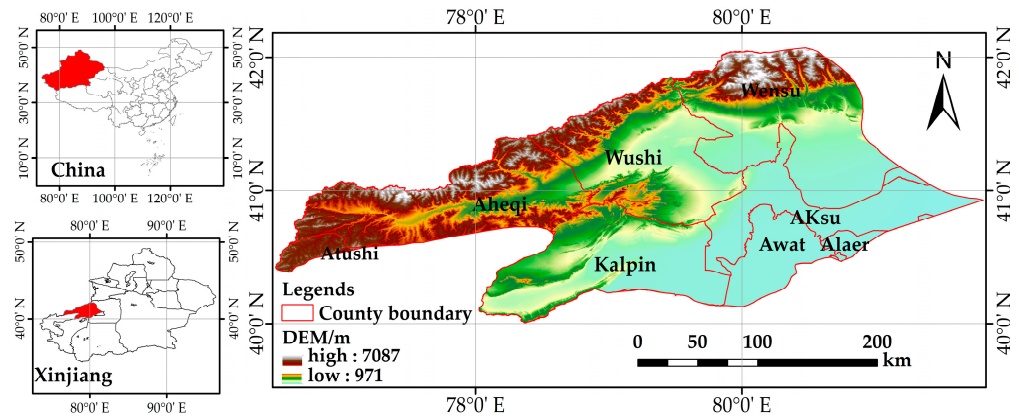
Aksu Nehri Havzası, Sincan'daki Tarım Nehri Havzası'nın "dört kaynak ve bir gövde" su sisteminde önemli bir unsurdur ve yılda ortalama olarak Tarım Nehri'ne akan suyun %70'inden fazlasını sağlar. Aksu Nehri Havzası'nın hidrolojik döngüsündeki ve su kaynaklarındaki değişiklikler, Tarım Nehri Havzası'nın ve Sincan'ın tüm güney bölgesinin ekolojik ve bölgesel güvenliğiyle doğrudan ilişkilidir. Evapotranspirasyon, havzanın su döngüsünde, özellikle son on yıllarda, havzanın toprak ve su kaynaklarının artan gelişimi ve kullanımıyla birlikte önemli bir harcama kalemidir. Sulanan tarım arazileriyle temsil edilen çöl alanlarındaki yapay vahalar, havzanın su döngüsünde ve su kaynaklarının tahsisinde değişikliklere neden olan en sık görülen arazi kullanım dönüşümü türüdür. Aksu Nehri Havzası'ndaki kırılgan ekolojik çevreyi korumak ve eski haline getirmek, su kaynaklarının etkin kullanımını ve ulusal ekonominin yüksek kaliteli gelişimini sağlamak için buharlaşmanın mekansal ve zamansal özelliklerini değerlendirmek ve itici faktörlerini analiz etmek büyük önem taşımaktadır. Şu anda, özellikle iklim faktörleri ve arazi kullanım türlerindeki değişikliklerden kaynaklanan buharlaşma üzerindeki etki ve havzanın MOD16 buharlaşma verilerinin uygulanması konusunda Aksu Nehri Havzası'nda buharlaşma hakkında çalışma eksikliği bulunmaktadır. Çoğu çalışma buharlaşma ile ilişki kurmak için sadece iki iklim faktörü, yağış ve sıcaklık kullanmıştır. Bu çalışmada, iklimsel bir faktör olarak bağıl nem eklenerek, MOD16 evapotranspirasyon verileri, meteorolojik veriler ve 2001-2020 yılları arasındaki üç arazi kullanım dönemi verileri kullanılarak Aksu Nehri Havzası'ndaki evapotranspirasyonun mekansal ve zamansal özellikleri ile iklimsel faktörler ve arazi kullanımındaki değişikliklere verdiği tepkilerin itici mekanizmaları araştırılmış, su kaynaklarının verimli kullanımı ve havzada hassas dağılımı için bilimsel rehberlik sağlanmıştır.

2. Malzemeler ve Yöntemler

2.1. Çalışma Alanı

Aksu Nehri Havzası, Tarım Havzası'nın kuzeybatı kenarında, Tanrı Dağları'nın güney eteklerinin batı kesiminde, 40 enleminde yer almaktadır. 40°42'27" N ve boylam 75°35'42" E, yaklaşık olarak toplam havza alanı ile

4.6×104km²(Figür1). Havzanın topoğrafik özellikleri, kuzeyden güneye ve batıdan doğuya doğru kademeli olarak azaldığını ve 971 ila 7087 m arasında değişen bir yükseltiye sahip olduğunu göstermektedir. Aksu Nehri Havzası'ndaki akış, esas olarak dağlık alanlardaki atmosferik yağışlardan ve buzul eriyik sularından gelir ve karasal ılıman kurak bir iklime sahiptir [21]. İklim değişikliği yıl boyunca serttir, Ocak en soğuk ay, Temmuz ise en sıcak aydır, soğuk kışlar ve sıcak yazlar yaşanır ve gündüz ile gece arasında büyük bir sıcaklık farkı vardır, çok yıllık ortalama sıcaklık 10,7'dir.°C. Aksu Nehri Havzası'ndaki yağış kuzeybatıdan güneydoğuya doğru azalan bir mekansal eğilim gösterir ve yıllık ve mevsimsel değişimler büyüktür, en fazla yağış Haziran-Ağustos aylarında ve daha az yağış kışın görülür ve uzun yıllar için ortalama yağış 137,7 mm'dir. Aksu Nehri Havzası'nın akışı belirgin bir mevsimsel dağılıma sahiptir, en büyük akış Temmuz ayında ve en küçük akış Şubat ayında görülür, ilkbahar kuraklığı ve yaz taşkınları ve çok az sonbahar ve kış kuraklığı görülür ve uzun yıllar için ortalama yıllık akış 148,21'dir.×108M³ Arazi kullanım tipi çoğunlukla kullanılmayan araziler ve meralardan oluşmaktadır.



Şekil 1. Çin'in Aksu Nehri Havzası Haritası.

2.2. Veriler

2.2.1. MOD16 Evapotranspirasyon Verileri

MOD16 evapotranspirasyon verileri NASA'dan indirildi (<https://search.earthdata.nasa.gov/> (erişim tarihi 20 Şubat 2024)). Bu çalışmada, 2001-2020 yılları arasında toplam 20 dönem için 8 günlük zamansal çözünürlüğe ve 500 m mekansal çözünürlüğe sahip MOD16A2 ürün verileri indirildi. Ham veriler, formatlarını HDF4'ten TIFF'e dönüştürmek için MRT 3.3 (MODIS Reprojection Tool) kullanılarak işlendi ve ardından çalışma alanındaki her ay için evapotranspirasyon değerlerini çıkarmak için ArcGIS 10.5 kullanılarak yansıtıldı, dönüştürüldü, eklendi ve kırıldı.

2.2.2. Meteorolojik Veriler

Meteoroloji verileri Ulusal Dünya Sistem Bilimi Veri Merkezi'nden indirildi (<http://www.geodata.cn> (20 Şubat 2024'te erişildi) [22] ve 2001-2020 yılları arasındaki aylık ortalama meteorolojik veriler Aksu Nehri Havzası için seçildi (veriler 1 km mekansal çözünürlüğe sahipti), aylık yağış (veriler mm cinsinden), aylık ortalama sıcaklık (veriler 0,1 °C) ve aylık ortalama bağıl nem (% cinsinden veriler). Meteorolojik veriler, MOD16 evapotranspirasyon verileriyle aynı mekansal çözünürlük ve projeksiyona sahip raster verileri elde etmek için ArcGIS 10.5 kullanılarak mekansal olarak enterpole edildi.

2.2.3. Arazi Kullanım Verileri

Arazi kullanım verileri, NASA (Washington, ABD) tarafından geliştirilen bir arazi örtüsü ürünü olan MODIS Land Cover'dan (MCD12Q1) alındı ve ürünün üç fazı, 500 m'lik mekansal çözünürlükle 2001, 2010 ve 2020 yılları için indirildi. Bu

Çalışmada, aşağıdaki altı kategoriye yeniden sınıflandırıldılar: ekilebilir arazi, ormanlık arazi, otlak, su havzaları, yapılaşmış arazi ve kullanılmayan arazi. Havzadaki 17 arazi örtüsü türü, arazi örtüsü ürünlerindeki değişiklikler temelinde altı arazi örtüsü türünde birleştirildi. Herdem yeşil iğne yapraklı ormanları, herdem yeşil geniş yapraklı ormanları, yaprak döken iğne yapraklı ormanları, yaprak döken geniş yapraklı ormanları, karma ormanları, kapalı çalılıkları ve açık çalılıkları orman arazisine; odunsu savanlar, savanlar ve otlakları otlaklara; kalıcı sulak alanları ve çorak arazileri kullanılmayan araziye; ekili alanlar ve ekili alanlar/doğal bitki örtüsü mozaiklerini ekilebilir araziye; kalıcı kar ve buz ile su kütlelerini su havzalarına; ve kentsel ve yapılaşmış alanları yapılaşmış araziye birleştirdik.

2.3. Yöntemler

2.3.1. Trend Analizi ve Mann-Kendal Testi

Theil-Sen medyan trend analizi, trendleri hesaplamak için sağlam bir parametrik olmayan istatistiksel yaklaşımdır. Yöntem hesaplama açısından verimlidir, ölçüm hatalarına ve keskin verilere duyarsızdır ve uzun süreli seri verilerinin trendini analiz etmek için uygundur [23]. Theil-Sen medyan trend analiz yöntemi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı

$$\beta = \text{Medyan} \left(\frac{ve_j - ET_{Ben}}{j - ben} \right), 1 \leq ben < j \leq 20 \quad (1)$$

Neresi Ben Ve zaman serisini belirtmek; ve_{Ben} Ve ve_j her rasterin buharlaşma-terleme değerlerini yıl olarak belirtin Ben ve yıl sırasıyla; $ve\beta$ değişim eğilimidir. Eğer $\beta > 0$, bu bir yükseliş eğilimini gösterir; eğer $\beta < 0$, bu düşüş eğilimini gösterir.

Mann-Kendal testi, ölçümlerin pozitif bir dağılımı takip etmesini gerektirmeyen, eksik değerlerden ve uç değerlerden etkilenmeyen ve uzun zaman serisi verilerinin eğiliminin anlamlılığını test etmek için uygun olan, zaman serisi eğilimi için parametrik olmayan bir testtir [24]. Mann-Kendall trend testinin parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanır

$$S = \sum_{Ben=1}^{n-1} \sum_{j=Ben+1}^N \text{işaret}(ve_j - ET_{Ben}) \quad (2)$$

burada $\text{sgn}()$ işaret fonksiyonudur ve şu şekilde hesaplanır:

$$\text{işaret}(ve_j - ET_{Ben}) = \begin{cases} 1, & ve_j - ET_{Ben} > 0 \\ 0, & ve_j - ET_{Ben} = 0 \\ -1, & ve_j - ET_{Ben} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Trend testleri test istatistiği kullanılarak gerçekleştirildi. Z değeri aşağıdaki gibi hesaplandı

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$Var(S) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{18} \quad (5)$$

Neresi N dizideki veri noktalarının sayısıdır ($N=20$) ve test istatistiği Z veri serisindeki eğilimi karakterize eder. Değer ne kadar büyükse Z , eğilim ne kadar belirginse Z . $Z > 0$, bu artış eğilimini gösterir ve eğer $Z < 0$, bu azalma eğilimini gösterir. Bu çalışmada, kritik bir değer olan $\alpha = 0,05$ 'lik bir önem düzeyi verildiğinde $Z_{1-\alpha/2} = \pm 1.96$, mutlak değerleri olduğunda $Z_{1,65}$, $1,96$ ve $2,58$ 'den büyük olması, eğilimin sırasıyla %90, %95 ve %99 güven düzeyleriyle anlamlılık testini geçtiği anlamına gelmektedir.

2.3.2. Basit Korelasyon Analizi

Basit bir korelasyon analizi, iki coğrafi unsur arasındaki ilişki derecesini hesaplayarak coğrafi unsurlar arasındaki etkileşimlerin ve etkilerin sonuçlarını ortaya koyar [15]. Bu çalışmada, aynı zaman dilimi için, 2001'den 2020'ye kadar Aksu Nehri Havzası'nın yıllık evapotranspirasyonu ile iklim faktörleri (yani sıcaklık, yağış ve bağıl nem) arasında basit bir korelasyon analizi yapmak ve her iklim faktörüyle evapotranspirasyon arasındaki mekansal korelasyon derecesini basit korelasyon katsayılarını test ederek yansıtmak için görüntü ögelerine dayalı bir mekansal korelasyon analizi kullanıldı. Hesaplama formülü aşağıdaki gibidir

$$R_{xy} = \frac{\sum_{Ben=1}^N [(X_{Ben} - \bar{x})(ve_{Ben} - \bar{sen})]}{\sqrt{\sum_{Ben=1}^N (X_{Ben} - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{Ben=1}^N (ve_{Ben} - \bar{sen})^2}} \quad (6)$$

Neresi N yıl sayısıdır ($N=20$); R_{xy} buharlaşma ve terleme ile iklim faktörleri arasındaki basit korelasyon katsayısıdır, bu da buharlaşma ve terleme ile iklim faktörleri arasındaki korelasyon derecesinin istatistiksel bir göstergesidir ve değeri $(-1, 1)$; X_{Ben} ve ve_{Ben} y ıldaki evapotranspirasyon ve iklim faktörlerinin değerlerinin dağılımları nelerdir Ben (2001, 2002,, 2020 yılları için); ve X ve ve y ıl için buharlaşma ve iklim faktörlerinin ortalamalarıdır N Sırasıyla.

Basit korelasyon analizinin sonuçları kritik değer kullanılarak test edildi. $\alpha = 0,444$ ($P > 0,05$) (yani, $R_{xy} \geq 0,444$), bu da iki etki eden faktörün önemli ölçüde ilişkili olduğunu ve aralarındaki etkileşimin belirgin olduğunu gösterirken, $R_{xy} < 0,444$, iki etki eden faktör arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamış ve aralarındaki etkileşim belirgin olmamıştır.

2.3.3. Kısmi Korelasyon Analizi

Kısmi korelasyon analizi, diğer etki eden faktörlerin müdahalesini hariç tutarak, basit bir korelasyon analizi temelinde iki etki eden faktör arasındaki korelasyon katsayısını hesaplamak için kullanılır. Diğer iki faktör arasındaki korelasyonu araştırmak için üç etki eden faktörden birinin sabitlenmesine olanak tanır [25]. Hesaplama formülü şu şekildedir:

$$R_{xy,z} = \frac{R_{xy} - D_{xz} R_{sen}}{\sqrt{(1 - R_{xz}^2)(1 - R_{sen}^2)}} \quad (7)$$

Neresi X bağımlı değişkeni (yani, buharlaşmayı) temsil eder, ve ve z bağımsız değişkenleri (yani iklim faktörlerini) temsil eder ve $R_{xy,z}$ bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki önyargı korelasyon katsayısıdır; değeri $(-1, 1)$. Eğer $R_{xy,z} \geq 0$, bu pozitif bir korelasyona işaret eder (yani, buharlaşma, bağımsız değişken açısından homoskedastiktir) ve; eğer $R_{xy,z} < 0$, bu negatif bir korelasyona işaret eder (yani, buharlaşma, bağımsız değişkene göre anizotropiktir) ve. Daha yüksek bir önyargı korelasyon katsayısı, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında daha güçlü bir korelasyon olduğunu gösterir.

Kısmi korelasyon katsayılarının anlamlılık testleri, aşağıdakiler kullanılarak yürütülmüştür: T -Aşağıdaki gibi hesaplanan testler

$$T = \frac{R_{xy,z}}{\sqrt{1 - R_{xy,z}^2}} \sqrt{\frac{n - m - 1}{1}} \quad (8)$$

Neresi T kısmi korelasyon katsayısının test istatistiğidir, değeri $(-\infty, +\infty)$; N örnek sayısıdır ($N=20$ bu çalışmada); ve M bağımsız değişkenlerin sayısıdır ($M=2$ bu çalışmada).

Bu araştırmada, evapotranspirasyon ile her bir iklim faktörü arasındaki kısmi korelasyon katsayısının önemlilik testi, aşağıdakilere dayanarak gerçekleştirilmiştir: T -testin kritik değeri, aşağıdaki iki güven düzeyini kullanarak: $\alpha = 2,898$ ($P < 0,01$) ve $\alpha = 2,110$ ($P < 0,05$).

2.3.4. Karmaşık Korelasyon Analizi

Bileşik korelasyon analiz yöntemi faktörlerin birleşik etkilerini yansıtabilir ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R_{X, sen} = \frac{\sqrt{(1 - R_{xy}^2)(1 - R_{xz, ve}^2)}}{1 - R_{xy} R_{xz, ve}} \quad (9)$$

Neresi $R_{X, sen}$ bağımlı değişken arasındaki karmaşık korelasyon katsayılarını belirtir X buharlaşma ve terleme) ve bağımsız değişkenler ve Z (her iklim faktörü için) (0, 1) değerleriyle; R_{xy} arasındaki basit korelasyon katsayısını belirtir X ve ; ve $R_{xz, ve}$ bağımlı değişken arasındaki kısmi korelasyon katsayısını belirtir X ve bağımsız değişken z .

Karmaşık korelasyon katsayıları, anlamlılık açısından şu şekilde test edildi: F -testi ve istatistik aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı

$$F = \frac{R_{X, sen}^2}{1 - R_{X, sen}^2} \times \frac{n - k - 1}{k} \quad (10)$$

Neresi F karmaşık korelasyon katsayısının test istatistiğidir, değeri (0, $+\infty$); N örnek sayısıdır ($N=20$); ve k bağımsız değişkenlerin sayısıdır ($k=2$).

Bu çalışmada, F -testin kritik değer tablosu, iki güven seviyesi, $\alpha = 6.110$ ($P < 0,01$) ve $\alpha = 3,592$ ($P < 0,05$) karmaşık korelasyon analizinin sonuçlarına ilişkin anlamlılık testleri yapmak için ($< 0,05$) kullanıldı.

2.3.5. Sürüş Bölgelerine İlişkin Kılavuzlar

Yurt içi ve yurt dışında bilim insanlarının araştırma sonuçlarına atıfta bulunarak [26, 27], yıllık buharlaşma-terleme için iklim faktörü odaklı bölgeleme kuralları, yıllık buharlaşma-terlemenin iki iklim faktörü, yani bağıl nem ve yağış ile kısmi ve bileşik korelasyon analizlerinin sonuçlarına dayanarak formüle edilmiştir. T -testler ve F -testler (Tablo 1).

Tablo 1. Aksu Havzası'nda yıllık evapotranspirasyon için iklim faktörü odaklı bölgeleme kuralları.

Buharlaşmanın Sürücülerinin Türleri	T-Test (Yağış)		T-Test (Bağıl Nem)		F-Test	
	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$
Yağış	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$F \geq F_{0,05}$	$F \geq F_{0,01}$
Yağış yoğunluğu	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$F \geq F_{0,05}$	$F \geq F_{0,01}$
Bağıl nem	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$F \geq F_{0,05}$	$F \geq F_{0,01}$
Bağıl nem (güçlü) Yağış ve bağıl nem Yağış ve bağıl nem	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$F \geq F_{0,05}$	$F \geq F_{0,01}$
(güçlü bir şekilde ortak yönlendirilmiş)	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$ T \geq T_{0,05}$	$ T \geq T_{0,01}$	$F \geq F_{0,05}$	$F \geq F_{0,01}$
Diğer iklim faktörleri	$ T < t_{0,05}$	$ T < t_{0,01}$	$ T < t_{0,05}$	$ T < t_{0,01}$	$F < f_{0,05}$	$F < f_{0,01}$

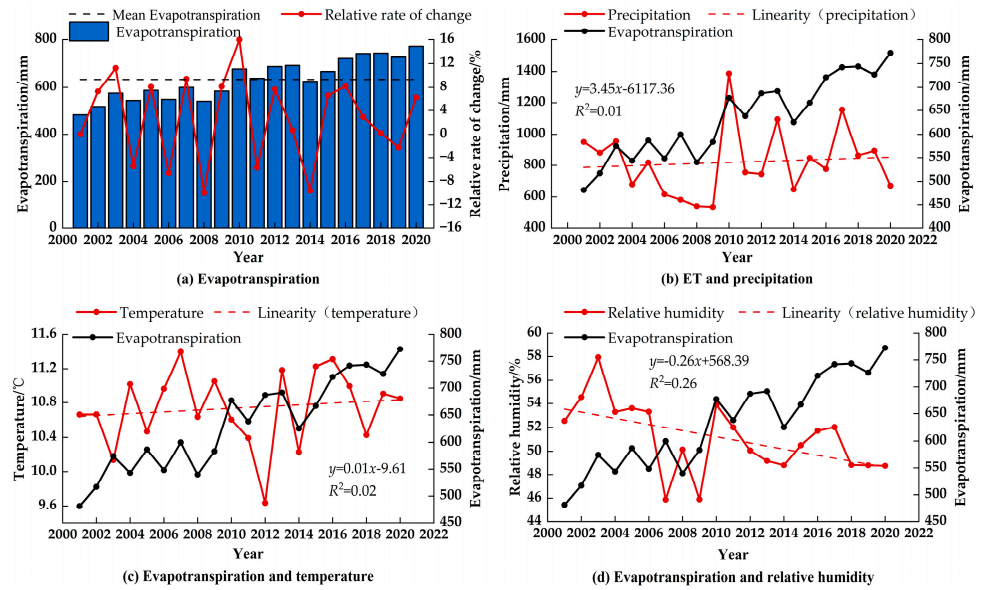
3. Sonuçlar

3.1. Evapotranspirasyondaki Mekansal ve Zamansal Değişimlerin Özellikleri

3.1.1. Evapotranspirasyondaki Zamansal Değişimlerin Analizi

2001-2020 yılları arasında Aksu Nehri Havzası'nda evapotranspirasyondaki yıllık değişim sürecinin ve göreceli değişim oranının hesaplanmasının sonuçları Şekil 2'de gösterilmektedir. 2a. Aksu Nehri Havzası'ndaki yıllık ortalama evapotranspirasyonun

2001-2020 yılları arasında 481,58 ila 772,37 mm/yıl arasında değişmiş ve çok yıllık buharlaşmanın ortalama değeri 633,33 mm/yıl olmuştur. 2001-2020 yılları arasında, yıllık buharlaşmanın ortalama buharlaşma değerinden daha önemli olduğu 10 yıl olmuştur, bunlar 2010-2013 ve 2015-2020 yıllarıdır. Aynı dönemde yıllık yağış, sıcaklık ve bağıl nem gibi meteorolojik faktörlerdeki değişikliklerle birleştirildiğinde (bkz. Şekil2), çok yıllık ortalama yağış ve sıcaklık göstermekhafif bir artış eğilimi ve çok yıllık ortalama bağıl nem, hafif bir düşüş eğilimi. Yıllık ortalama yağış ve sıcaklık, ortalama yıllık buharlaşmanın yönü (Şekil2b,c). Buna karşılık, yıllık ortalama bağıl nem, yıllık ortalama buharlaşma-terlemenin tersi bir eğilim gösterdi (Şekil2d) Bölgedeki evapotranspirasyon eğilimlerinin yağış, sıcaklık ve bağıl nem ile ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.Aksu Havzası'nda 2001-2020 yılları arasında evapotranspirasyon ve iklim faktörlerindeki yıllık değişkenlik.

Şekil 2'de Aksu Nehri Havzası'nda 2001-2020 yılları arasında aylık ortalama buharlaşma ve yağış, sıcaklık ve bağıl nemdeki değişimler gösterilmektedir.3ve buharlaşmanın Ocak-Nisan aylarında yavaş yavaş artan bir eğilim ve Nisan ayında önemli bir yükseliş eğilimi gösterdiğini, Ağustos ayında zirveye ulaştığını (110,25 mm) ve ardından Ekim-Aralık aylarına kadar Ağustos-Ekim aylarında önemli ölçüde azaldığını ve Aralık ayında minimum değere (16,97 mm) yavaşladığını belirttiler. Yağış ve sıcaklıktaki değişimlerin özellikleri genellikle buharlaşmadaki değişimlerdeki eğilimle tutarlıydı. Ocak ayından Nisan ayına kadar havzadaki ortalama yağış daha düşüktü (24,06 mm) ve ortalama sıcaklık (3,38-°C), ikisi de şu anda artışta. Nisan'dan Haziran'a kadar havzadaki hem yağış hem de sıcaklık kademeli olarak arttı. Sıcaklık ve bağıl nem arasında yakın bir ilişki vardır. Genellikle, sıcaklık ne kadar yüksekse, havadaki su buharı içeriği o kadar fazla ve bağıl nem o kadar düşük olur. Tersine, sıcaklık ne kadar düşükse, havadaki su buharı miktarı o kadar az ve bağıl nem o kadar yüksek olur. Bağıl nemdeki değişikliklerdeki eğilim, buharlaşmanın tersiydi. Ocak'tan Nisan'a kadar ortalama bağıl nem (%49,66) aşağı yönlü bir eğilim gösterdi ve havzadaki bitki örtüsünün büyüme hızı yavaştı. Haziran'dan Ağustos'a kadar yağış (163,02 mm) ve sıcaklık (23,91 °C) yıl için zirveye ulaştı. Yeterli su temini ve uzun süreli güneş ışığı bitki örtüsünün hızla büyümesine yol açtı ve bitki örtüsünün su buharlaşması belirgindi, buharlaşma maksimum değere ulaştı. Ağustos'tan ekime kadar yağış ve sıcaklık kademeli olarak azaldı ve bağıl nem

Aralık ayında yılın zirvesine (68.87%) ulaştı. Bitki örtüsü yavaş yavaş solma dönemine girdi ve terleme azaldı ve dolayısıyla buharlaşma da yavaş yavaş azaldı.



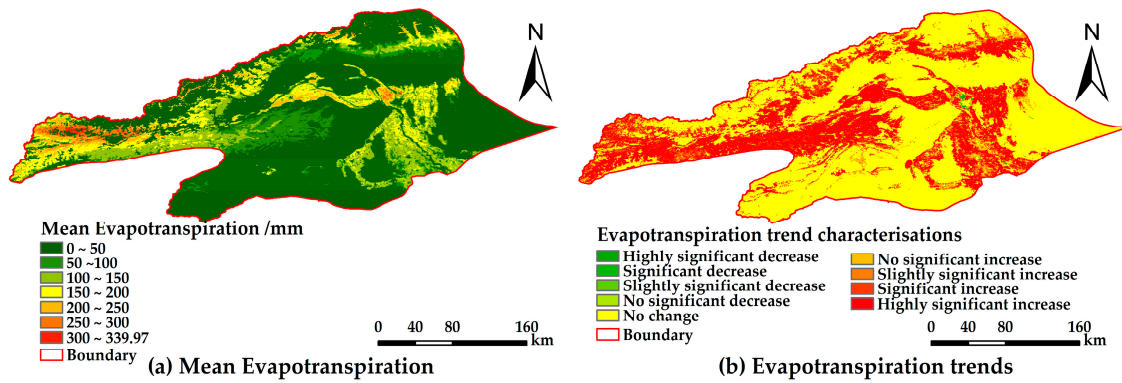
Şekil 3.Aksu Havzası'nda 2001-2020 yılları arasında aylık ortalama evapotranspirasyon, yağış, sıcaklık ve bağıl nemdeki değişimler.

3.1.2. Evapotranspirasyondaki Mekansal Değişimin Analizi

Çalışma alanında 2001-2020 yılları arasında çok yıllık evapotranspirasyon ortalama değerlerinin mekansal dağılım özellikleri Şekil'de gösterilmektedir.4Aksu Nehri Havzası'ndaki evapotranspirasyonun genel olarak batı ve orta kesimde yüksek, kuzey ve güneyde ise düşük dağılım özelliklerine sahip olduğu, bunun da havzadaki bitki örtüsünün eşit olmayan dağılımıyla yakından ilişkili olduğu görülmektedir (Şekil 1).4a). Evapotranspirasyonun yüksek değerlerine (150–300 mm) sahip alanlar çoğunlukla otlak ve ekili araziyken, evapotranspirasyonun düşük değerlerine (0–50 mm) sahip alanlar çoğunlukla kullanılmayan arazi ve seyrek çalılık ve düşük örtülü otlaklardı. Theil–Sen medyan eğim tahmini ve Mann–Kendall eğilim analizi temelinde, evapotranspirasyondaki eğilimler dokuz kategoriye sınıflandırıldı (Tablo2). Tabloda2ve Şekil4b, yıllık buharlaşmada çok belirgin artışlar, belirgin artışlar ve hafif belirgin artışlar olan alanların çoğunlukla Aheqi'nin güney-orta kesiminde, Wushi'nin güney-orta kesiminde, Awat'ın kuzeydoğu kesiminde ve otlak ve ekili arazilerin dağıldığı ve bitki örtüsünün yüksek olduğu Wensu'nun güney-orta kesiminde dağıldığı görülebilir; dolayısıyla buharlaşma genel olarak çok belirgin bir artış eğilimi göstermiş ve bu büyüme eğiliminin mekansal dağılımı bant dağılımına sahiptir. Yıllık buharlaşmada çok belirgin düşüşler, belirgin düşüşler ve hafif belirgin düşüşler olan alanlar çoğunlukla nüfus yoğunluğu ve kentleşmeden etkilenen yoğun nüfuslu Aksu ve Wensu bölgeleridir. Buharlaşmada hiçbir değişiklik olmayan kalan alanların çoğu öncelikle havzaların kuzey, güney ve doğu kısımlarında yer almaktadır ve çoğunlukla çıplak arazilerdir, buharlaşmada nispeten istikrarlı yıllık değişimler vardır, çoğunlukla iklim değişikliğinden ve antropojenik bozulmalardan daha az etkilenmektedirler. Genel olarak, Aksu Havzası'nda yıllık ortalama evapotranspirasyonun 20 yıllık değişim hızı %0,53 olup, genel eğilim önemsiz bir artış yönündedir.

Tablo 2.Mann-Kendall testi trend kategorileri.

β	$\beta>0$				$\beta=0$		$\beta<0$		
Z	$2,58 < Z$	$1,96 < Z \leq 2,58$	$1,65 < Z \leq 1,96$	$Z \leq 1.65$	Z	$Z \leq 1.65$	$1,65 < Z \leq 1,96$	$1,96 < Z \leq 2,58$	$2,58 < Z$
Eğilim kategoriler	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
Trend karakteristiği terizasyonlar	Çok yüksek önemli arttırmak	Önemli arttırmak	Biraz önemli arttırmak	HAYIR önemli arttırmak	Hiçbir değişiklik yok	HAYIR önemli azaltmak	Biraz önemli azaltmak	Önemli azaltmak	Çok yüksek önemli azaltmak



Şekil 4. Aksu Havzası'nda ortalama evapotranspirasyonun mekansal analizi ve 2001-2020 yılları arasında evapotranspirasyondaki değişim eğilimleri.

3.2. İklim Değişikliğinin Evapotranspirasyondaki Mekansal ve Zamansal Değişimlere Etkisi

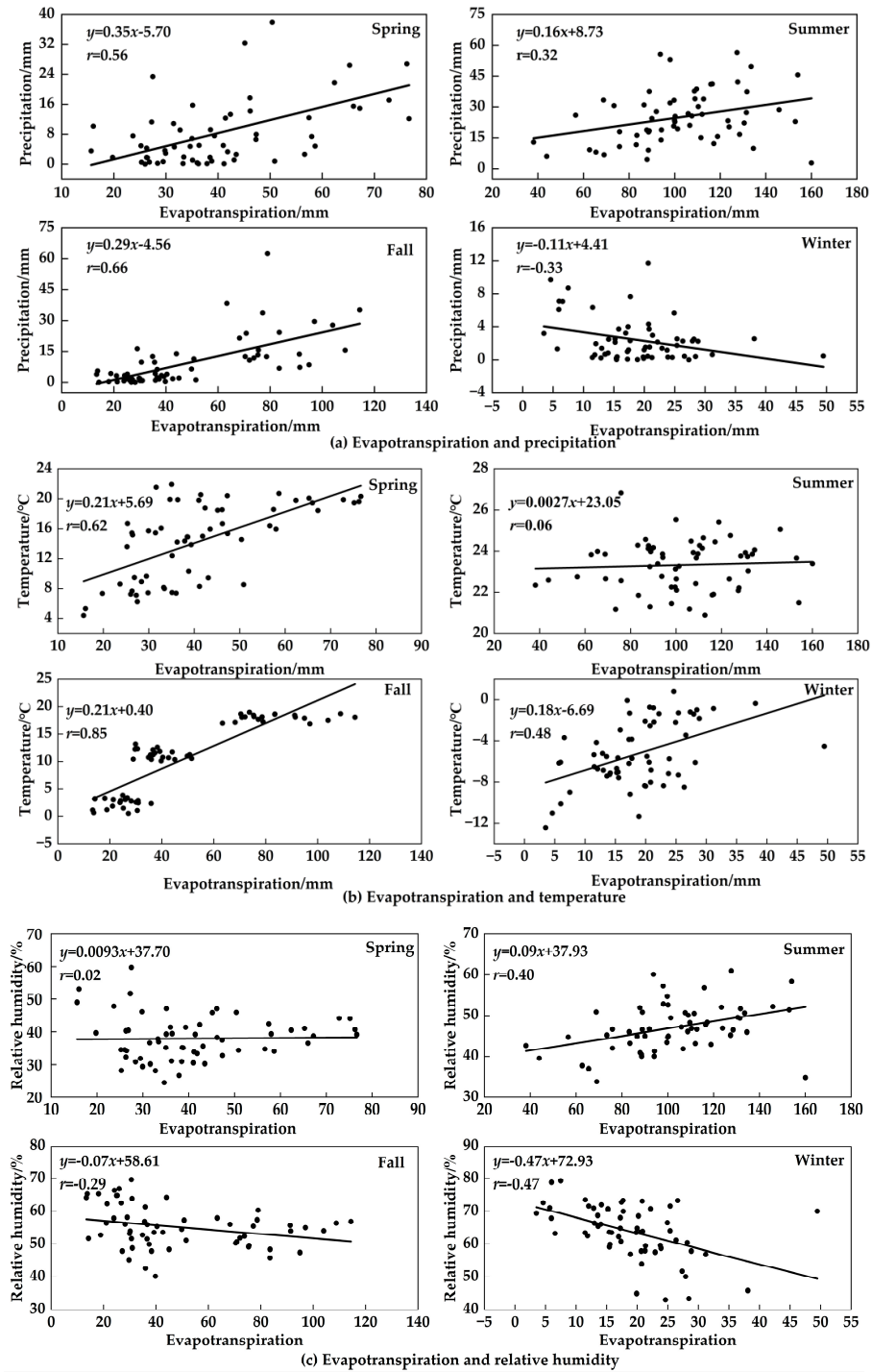
3.2.1. Evapotranspirasyon ve İklimsel Faktörler Arasındaki Korelasyonun Analizi

Üç aylık buharlaşmanın yağış, sıcaklık ile korelasyonları, ve çalışma alanındaki bağıl nem 2001'den 2020'ye kadar basit korelasyon analizi kullanılarak elde edildi ve sonuçlar Şekil'de gösterilmektedir.5. Buharlaşmanın terleme yoluyla gerçekleştiği görülebilir $P = 0,05$ önem seviyesinde yağış, sıcaklık ve bağıl nem ile önemli ölçüde farklı korelasyonlar gösterdi. Çeyreklik buharlaşma ve yağış arasındaki korelasyonların büyüklük sırası şu şekildeydi: sonbahar (0,66) > ilkbahar (0,56) > kış (-0,33) > yaz (0,32). Hava sıcaklığı ile korelasyonların büyüklük sırası şu şekildeydi: sonbahar (0,85) > ilkbahar (0,62) > kış (0,48) > yaz (0,06). Bağıl nemle olan korelasyonların büyüklük sırası şu şekildeydi: kış (-0,47) > yaz (0,40) > sonbahar (-0,29) > yay (0,02).

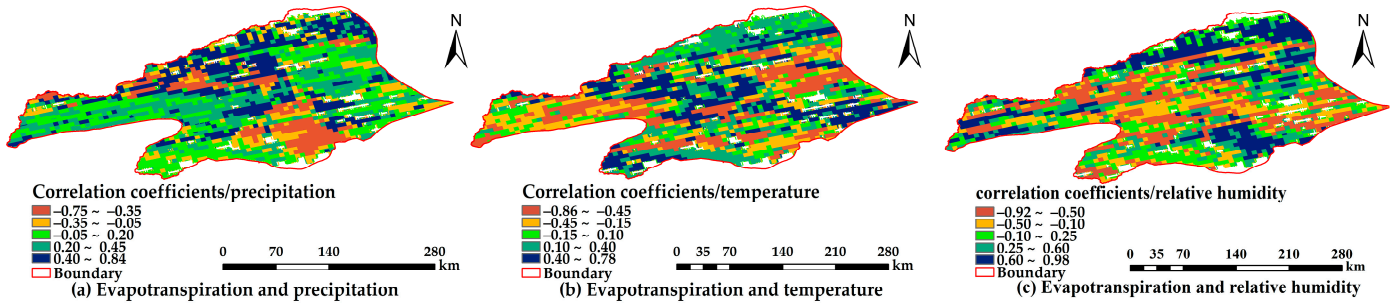
İlkbaharda buharlaşma-terleme ile sıcaklık arasındaki korelasyon, buharlaşma-terleme ile yağış ve bağıl nem arasındaki korelasyondan biraz daha yüksekti ve yaz aylarında buharlaşma-terleme ile bağıl nem arasındaki korelasyon, buharlaşma-terleme ile yağış ve hava sıcaklığı arasındaki korelasyondan biraz daha yüksekti; bu da, havzanın buharlaşma-terlemesinin büyüklüğünü ilkbaharda yöneten ana etkenin hidrotermal dengedeki ısı olduğunu ve yaz aylarında havzanın buharlaşma-terlemesinin büyüklüğünü yöneten ana etkenin hidrotermal dengedeki su olduğunu göstermektedir. Sonbaharda buharlaşma-terleme ile yağış ve hava sıcaklığı arasındaki korelasyonlar diğer üç mevsime göre önemli ölçüde daha yüksekti ve bağıl nemle olan korelasyon negatif ve düşüktü; bu da buharlaşma-terlemenin o mevsimde esas olarak yağış ve hava sıcaklığından etkilendiğini göstermektedir. Evapotranspirasyonun yağış, hava sıcaklığı ve bağıl nem ile korelasyon katsayıları kış aylarında daha düşük, yağış ve bağıl nem ile korelasyon katsayıları ise negatif bulunmuştur. Bu durum özellikle Aksu Çayı Havzası'nda kış aylarında bitki örtüsünü kaplayan yüksek kar yağışı nedeniyle yağış artışına rağmen düşük evapotranspirasyon olması nedeniyledir. Hava sıcaklığı ile ise pozitif korelasyon bulunmuştur.

Aksu Nehri Havzası'nda 2001-2020 yılları arasında evapotranspirasyon ile çeşitli meteorolojik faktörler arasındaki ilişkinin mekansal dağılımları Şekil 2'de gösterilmektedir.6Buharlaşma ve yağış arasındaki mekansal ortalama korelasyon katsayısı 0,15'ti; sıcaklıkla birlikte ise -0,01; ve bağıl nem ile, genel olarak pozitif korelasyonlu olan 0,03'tü. Evapotranspirasyon ile yağış, sıcaklık ve bağıl nem arasında pozitif korelasyonlara sahip alanlar havzanın toplam alanının sırasıyla %70,08, %51,64 ve %52,52'sini oluştururken, negatif korelasyonlara sahip alanlar havzanın toplam alanının sırasıyla %29,92, %48,31 ve %47,48'ini oluşturuyordu. Evapotranspirasyon ile yağış arasındaki pozitif korelasyon daha güçlüydü ve çalışma alanının çoğu alanında evapotranspirasyon ile yağış arasında pozitif korelasyonlar vardı, bu da yağışın ana faktör olduğunu gösteriyordu.

Aksu Nehri Havzası'ndaki evapotranspirasyona etki eden faktörler. Evapotranspirasyon ile sıcaklık ve bağıl nem arasındaki negatif korelasyonlar daha güçlüydü. Ayrıca, yağış ve bağıl nem ile tutarlı pozitif korelasyonlara sahip alanlar çoğunlukla kuzey bölgesinde dağılmışken, sıcaklık ve bağıl nem ile tutarlı negatif korelasyonlara sahip alanlar çoğunlukla orta ve güney bölgelerinde dağılmıştı. Bu da yağış ve bağıl nemin çalışma alanındaki evapotranspirasyondaki değişiklikleri etkileyen ana iklim faktörleri olduğunu gösteriyor.



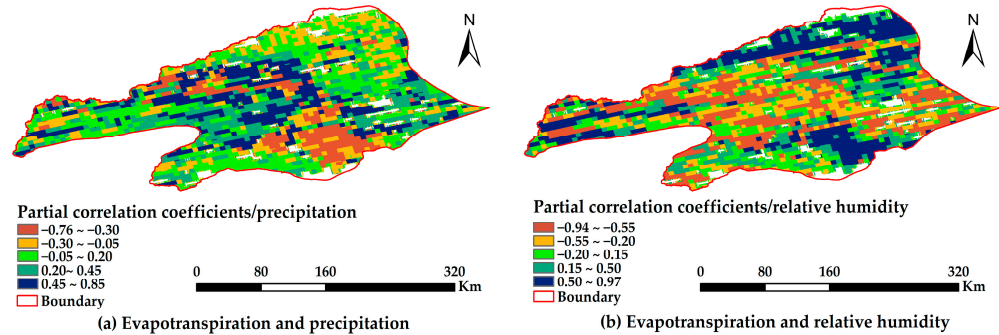
Şekil 5. Aksu Havzası'nda 2001-2020 yılları arasında mevsimsel evapotranspirasyonun yağış, sıcaklık ve bağıl nem ile korelasyon analizi.



Şekil 6. Aksu Havzası'nda 2001-2020 yılları arasında evapotranspirasyon ile iklimsel faktörler arasındaki korelasyon katsayılarının mekansal dağılımları.

3.2.2. Evapotranspirasyon ve İklimsel Faktörler Arasındaki Bikorelasyon ve Karmaşık Korelasyon Analizi

Kısmi korelasyon analizi ve buharlaşma-terleme ile bileşik korelasyon analizi için bağıl nem ve yağış seçilmiştir. Şekilde görülebileceği gibi, buharlaşma-terleme ve bağıl nem için kısmi korelasyon katsayıları $-0,95 \sim -0,97$, ortalama değeri ile $-0,02$ ve genel korelasyon negatifti. Negatif korelasyonlu alanlar, toplam alanı 23.637 km^2 olan Wushi, Aksu ve Kalping'in kuzey kısmıydı. 2. havzanın toplam alanının %51,35'ini oluşturmaktadır. İki taraflı T-test, Awat, kuzey Wushi ve kuzey Wensu 0,05 düzeyinde anlamlılık testini geçti. 11.681 km^2 'lik bir alana sahipler. RH'nin bikorelasyon katsayısının pozitif ilişkili alanlarının %52,15'ini oluşturan Awat, kuzey Wushi ve kuzey Wensu, 0,01 düzeyinde anlamlılık testini geçti ve 8733 km^2 'lik bir alanla, pozitif korelasyonlu alanın yaklaşık %38,99'unu oluşturmaktadırlar.

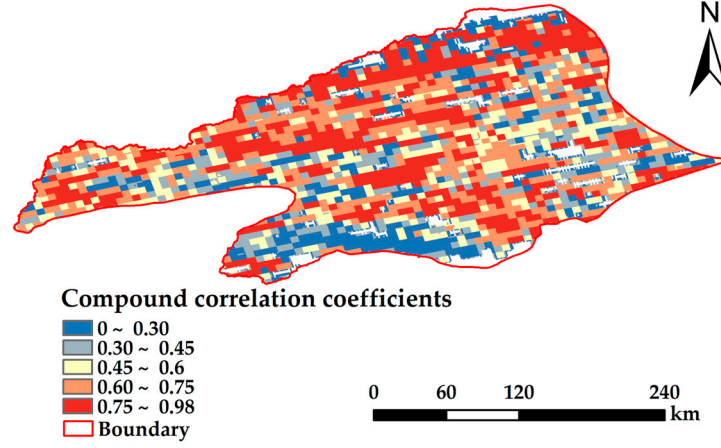


Şekil 7. Buharlaşma ve terleme arasındaki kısmi korelasyon katsayılarının mekansal dağılımları (A) yağış ve (B) Aksu Havzası'nda 2001-2020 yılları arasındaki bağıl nem.

Buharlaşma-terleme ve yağış için bikorelasyon katsayıları $-0,76 \sim -0,85$, 0,13 ortalama değer ve genel pozitif korelasyon. Pozitif korelasyonlu alanlar, 30.196 km^2 'lik bir alana sahip olan Aheqi, Wushi, Aksu'nun doğu kısmı ve Kalpin'in batı kısmıydı. 2. havzanın toplam alanının %65,59'unu oluşturmaktadır. İki taraflı T-test, Wushi ve Aheqi'nin doğu kısmı 0,05 düzeyinde anlamlılık testini geçti ve 9088 km^2 'lik bir alan, yağış için pozitif bir çift korelasyon katsayısı ile alanın yaklaşık %30,01'ini oluştururlar. Wushi ve Aheqi'nin doğu kısmı 0,01 seviyesinde anlamlılık testini geçti ve 4811 km^2 'lik bir alanla, pozitif korelasyonlu alanın yaklaşık %15,93'ünü oluşturmaktadırlar. Genel olarak, Aksu Nehri Havzası'nda evapotranspirasyon ve yağış arasındaki ikili korelasyonun önemi, bağıl nem için olandan daha güçlüydü.

Figür 8 Aksu Nehri Havzası'nda evapotranspirasyon ve iklim faktörleri arasındaki karmaşık korelasyon katsayılarının mekansal dağılımını gösterir, karmaşık korelasyon katsayıları 0 ile 0,98 arasında değişir ve ortalama değeri 0,58'dir.

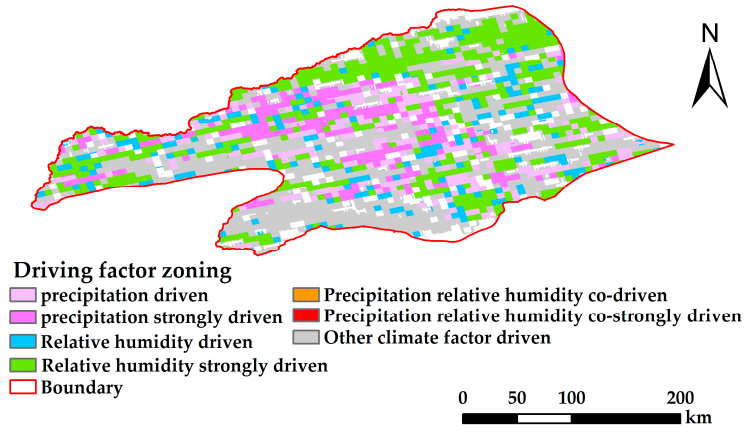
önemli karmaşık korelasyonlar doğu ve batıda dağılmışken, düşük karmaşık korelasyonlara sahip alanlar kuzey ve güneyde dağılmıştır. *F*-test sonuçları, alanların yaklaşık %60,03'ünün 0,05 düzeyinde anlamlılık testini geçtiğini gösterdi ve testi 0.01 düzeyinde.



Şekil 8. Aksu Havzası'nda 2001-2020 yılları arasında evapotranspirasyon ile iklimsel faktörler arasındaki bileşik korelasyon katsayılarının dağılımı.

3.2.3. Evapotranspirasyon Sürücülerinin ve İklimsel Faktörlerin Analizi

2001-2020 yılları arasında Aksu Nehri Havzası'nda evapotranspirasyonun itici faktörlerinin bölgelendirilmesinin sonuçları (Şekil9) Havzada itici faktör olarak yağış ve itici faktör olarak kuvvetli yağış alan alanların toplam 10.675 km² olduğunu belirttik, esas olarak Awat ve Wushi. Güçlü yağışın itici bir faktör olduğu alan 5013 km², yağışın itici güç olduğu toplam alanın yaklaşık %46,96'sını oluşturuyor. RH'den etkilenen alanlar, toplam alanı 23.225 km olan Wensu, Wushi, Awat, Aheqi, Kalpin ve Aksu'ydu. 2RH faktörü tarafından güçlü bir şekilde yönlendirilen alanın yaklaşık olarak kapladığı Toplam RH kaynaklı alanın %72,93'ü. Yağış ve RH'nin eş-sürüş faktörleri olduğu alanlar, Wushi'nin güney-orta kısmı, Awat'ın kuzey kısmı ve Aheqi'nin doğu kısmıydı, toplam 7192 km²'lik bir alan 2RH ve yağışın güçlü eş itici faktörler olduğu alan, yağış ve RH'nin eş itici olduğu toplam alanın yaklaşık %32,56'sıydı. Genel olarak, 2001'den 2020'ye kadar Aksu Nehri Havzası'ndaki evapotranspirasyonun itici mekanizmaları yağış ve bağlı nemdi.

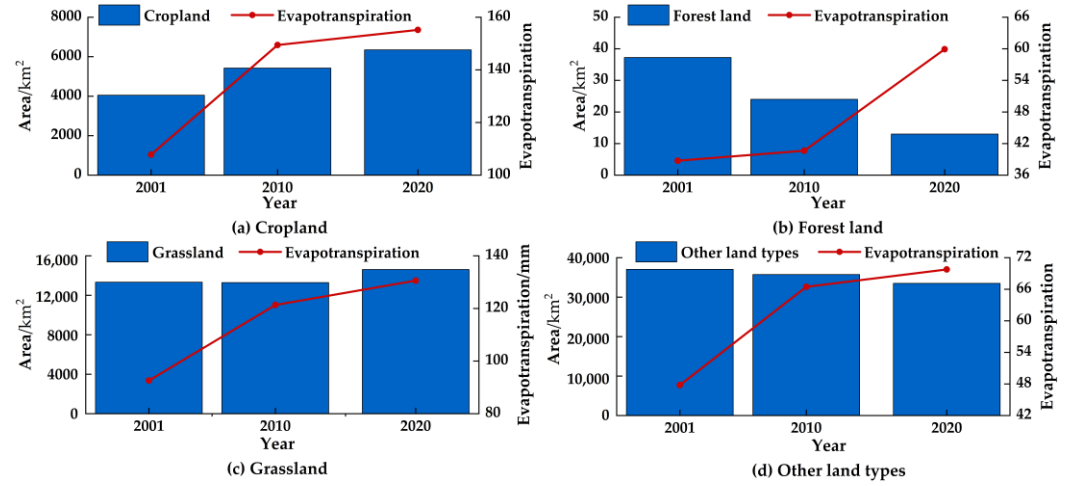


Şekil 9. Aksu Havzası'nda 2001-2020 yılları arasında evapotranspirasyon etkenlerinin ve iklimsel faktörlerin mekansal dağılımı.

3.3. Arazi Kullanım Değişikliğinin Evapotranspirasyondaki Mekansal ve Zamansal Değişiklikler Üzerindeki Etkileri

3.3.1. Farklı Arazi Kullanım Türleri İçin Buharlaşmada Mekansal-Zamansal Değişimlerin Özellikleri

Şekilde görüldüğü gibi10, farklı arazi kullanım tiplerinin alanlarının büyüklükleri şu sırayla olmuştur: diğer arazi tipleri > çayır > ekili arazi > orman arazisi. Yıllık ortalama buharlaşmanın karşılık gelen alanlarının büyüklükleri şu sırayla olmuştur: ekili arazi (137,48 mm/yıl) > çayır (114,84 mm/yıl) > diğer arazi tipleri (61,34 mm/yıl) > ormanlık alan (46,44 mm/yıl). Ekili alanlar Aksu Nehri Havzası'nın toplam alanının yaklaşık %11,65'ini oluştururken, bu oran diğer arazi tiplerinin toplam alanının %18,95'ine denk gelmektedir. Ekili alanlar için yıllık ortalama evapotranspirasyon, diğer arazi tiplerinin yıllık ortalama evapotranspirasyonundan yaklaşık 76,14 mm/yıl daha yüksek olmuştur. Bu durum, evapotranspirasyon için su emen bitki kök sistemlerinin fizyolojik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çalışma dönemi boyunca, ekili alanlar ve çayır alanları, ortalama evapotranspirasyonda artan bir eğilime karşılık gelen artış eğilimleri göstermiştir. Orman alanları ve diğer arazi tipleri, çalışma dönemi boyunca Aksu Nehri Havzası'ndaki sıcaklık ve yağıştaki artışlara bağlı olarak, evapotranspirasyon değerlerinde artan bir eğilime karşılık gelen alanda azalan eğilimler göstermiştir.

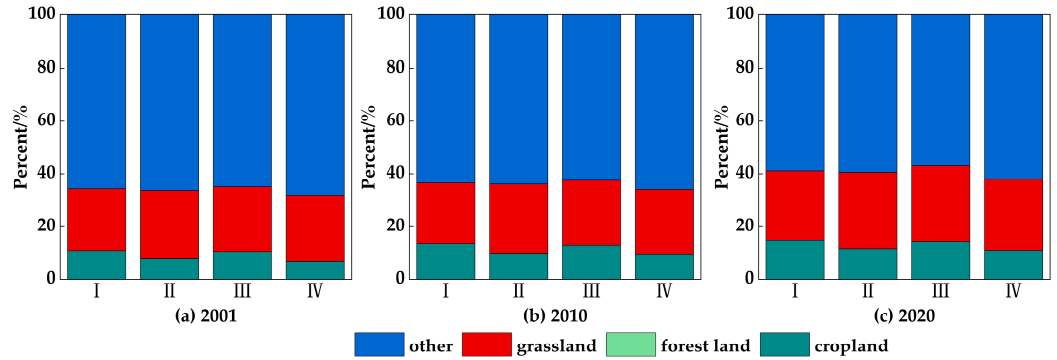


Şekil 10. Aksu Havzası'nda 2001-2020 yılları arasında farklı arazi kullanım tiplerine göre alanların ve evapotranspirasyonun değişimi.

3.3.2. Arazi Kullanımı ve İklim Değişikliği Bağlamında Evapotranspirasyon Sürücülerinin Bölgeleştirilmesi

Havzanın 2001, 2010 ve 2020 yıllarındaki buharlaşma-terlemeyi etkileyen çeşitli etkenlere ait arazi kullanım türlerinin yüzdeleri Şekil'de gösterilmektedir. 11I'deki (yağışla yönlendirilen) ekilebilir arazi yüzdelерinin sırasıyla %14,67, %13,46 ve %10,86 olduğu; II'deki (bağıl nemle yönlendirilen) ormanlık arazi yüzdelерinin sırasıyla %0,03, %0,05 ve %0,07 olduğu; III'teki (yağış ve bağıl nemle birlikte yönlendirilen) çayırılık arazi yüzdelерinin sırasıyla %28,86, %24,71 ve %24,58 olduğu görülebilir. Genel olarak, diğer arazi tipleri, sürücü tipleri için en büyük oranı oluşturuyordu ve sürücü tipleri arasında ortalama yıllık oran %63,17 ve IV için (diğer iklim faktörleriyle yönlendirilen) en büyük orandı. Bu nedenle, Aksu Nehri Havzası'ndaki diğer arazi tipleri için iklim faktörü kaynaklı evapotranspirasyondaki değişimin modu esas olarak IV idi. Çayırlar için iklimsel faktör kaynaklı evapotranspirasyon tiplerindeki değişim modlarının yıllık ortalama oranları sırasıyla II ve III için %27,01 ve %26,05 olup, çayırlar için ana iklimsel faktör kaynaklı modların II ve III olduğunu göstermektedir. Tarım arazileri için iklimsel faktör kaynaklı Tip I ve III'ün evapotranspirasyon modlarındaki değişim modlarının yıllık ortalama yüzdeleri sırasıyla %13,00 ve %12,52 olup, tarım arazileri için ana iklimsel faktör kaynaklı modların I ve III olduğunu göstermektedir. Ormanlar için iklimsel faktör kaynaklı Tip II ve IV'ün evapotranspirasyondaki değişimlerinin yıllık ortalama yüzdeleri

Arazideki iklim faktörlerinin sırasıyla %0,05 ve %0,01 olduğu, orman arazisi için iklim faktörü kaynaklı ana modların II ve IV olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Aksu Havzası'nda 2001, 2010 ve 2020 yıllarında evapotranspirasyonun itici güçlerinin arazi kullanım tiplerinin oranları.

4. Tartışma

Aksu Nehri Havzası'ndaki evapotranspirasyonun mekansal ve zamansal özellikleri, bir miktar mekansal ve zamansal düzenlilik gösterdi ve yıllar içindeki yüksek evapotranspirasyon değerleri, esas olarak nispeten yüksek rakımlarda bulunan Aheqi'nin batı kesiminde dağıldı; bu da Aksu Nehri Havzası'ndaki evapotranspirasyonun mekansal gücünün yükseklikle belirli bir bağlantısı olduğunu göstermektedir [11]. Yağış ve sıcaklığın artması ve bağıl nemin azalmasıyla birlikte, Aksu Nehri Havzası'ndaki çok yıllık ortalama buharlaşma-terleme genel olarak artmakta ve kuzeydoğudan güneybatıya doğru düşük-yüksek-düşük dağılımlı bir mekansal desen göstermektedir. Her iklim faktörünün buharlaşma-terleme üzerindeki korelasyonları mekansal heterojenlik göstermiştir ve buharlaşma-terleme ile iklim faktörleri arasındaki korelasyonların analizinin sonuçları, buharlaşma-terleme ile yağış arasındaki pozitif korelasyonun hava sıcaklığı ve bağıl nem arasındaki korelasyondan önemli ölçüde daha güçlü olduğunu ve yağış ile ilişkili nemin bölgesel buharlaşma-terlemedeki değişkenliğin mekansal-zamansal dağılımını etkileyen ana iklim faktörleri olduğunu göstermiştir. Ancak, iklim faktörleri birbirinden tamamen bağımsız değildir ve etkileşimleri de buharlaşma-terlemedeki değişimlerde bazı roller oynayabilir [28]. Ayrıca, yüzey topografyası farklı bölgelerin buharlaşma ve her iklim faktörü arasında farklı korelasyonlar göstermesine neden olabilir [29]. Gelecekteki çalışmalar, her iklim faktörünün buharlaşma terlemesi üzerindeki etkisini daha iyi belirlemek için bu konuyu ele almalıdır. Havzadaki farklı arazi kullanım tiplerinin buharlaşma terlemesinin yıllık ortalama değerleri, ekili arazi ve otlak alanlarında artan bir eğilimle birlikte artan bir eğilim gösterdi ve bu, Aksu Nehri Havzası'ndaki temel tarım arazisi iyileştirme ve arazi konsolidasyonunun yüksek standartlı projelerinin çalışmalarıyla ayrılmaz bir şekilde bağlantılı olan buharlaşma terlemesinin ortalama değerindeki artan eğilime karşılık geldi.

Çalışmanın sonuçları, Aksu Nehri Havzası'ndaki su kaynaklarının rasyonel gelişimi, kullanımı ve yönetimi ve iklimin bölgesel düzenlenmesi için bilimsel bir referans temeli sağlayabilir. Ancak, hala aşağıdaki eksiklikler vardır. Bu makalede kullanılan MOD16 evapotranspirasyon ürünü verilerinin mekansal çözünürlüğü 500 m idi ve veriler bulutların ve dağ gölgelerinin dağılımı gibi faktörlerden etkilenmişti ve bazı pikseller için değer yoktu. Gelecekteki çalışmalar, araştırma için daha yüksek çözünürlük ve daha iyi kalitede evapotranspirasyon verileri elde etmek için enerji dengesi, elementler arası enterpolasyon ve diğer algoritmaları birleştirmelidir.

5. Sonuçlar

MOD16 evapotranspirasyon ürününün verilerine dayanarak, evapotranspirasyondaki mekansal ve zamansal değişimlerin özellikleri Theil-Sen medyanı kullanılarak analiz edildi

eğilim ve M-K testi ve evapotranspirasyondaki değişiklikleri yönlendiren mekanizmalar korelasyon analizi kullanılarak araştırıldı. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

(1) Aksu Havzası'nda çok yıllık ortalama evapotranspirasyon değeri 633,33 mm/yıl idi. 2001-2020 yılları arasında Havza Nehri'nin batı ve orta kesimlerinde yüksek, kuzey ve güneyde ise düşük bir mekansal dağılıma sahip olduğu görülmektedir.

(2) Buharlaşma ve yağış arasındaki pozitif korelasyon ve Aksu Nehri Havzası'nda buharlaşma ve hem hava sıcaklığı hem de bağıl nem arasındaki negatif korelasyonlar daha güçlüydü. Buharlaşma ve yağış arasındaki bikorelasyonun önemi, bağıl nemden daha güçlüydü. Buharlaşma ve iklim faktörleri arasındaki karmaşık korelasyonlar çoğu bölgede önemliydi.

(3) Farklı arazi kullanım tipleri için yıllık ortalama buharlaşma-terleme değerleri Aşağıdaki sıradaydı: ekili arazi > çayır > diğer arazi tipleri > orman arazisi. Aksu Nehri Havzası'nda buharlaşmayı etkileyen ana faktörler yağış ve bağıl nemdi.

Yazar Katkıları:GZ veri analizlerini gerçekleştirdi ve makaleyi yazdı; GW ve FG çalışmanın kavramsallaştırılmasına ve fonların edinilmesine katkıda bulundu; YC verilerin toplanmasına ve işlenmesine katkıda bulundu; FH yapıcı tartışmalar yoluyla analizlerin gerçekleştirilmesine yardımcı oldu. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman:Bu araştırma Çin Ulusal Bilimsel Vakfı (NSFC) (no. U2003204), Devletin Araştırma ve Geliştirme Planı Anahtar Projesi (2023YFC3206804), Su Kaynakları Bakanlığı'nın büyük bilimsel araştırmalar için özel fonları (SKS-2022155) ve Tarım Nehri Havzası Yönetim Bürosu Bilimsel Araştırma Projesi (TGJAKSJG-2022KYXM0003; TGJGLJJG-2024KYXM0003) tarafından desteklenmiştir. Editörlere ve anonim değerlendirecilere bu makaleyi geliştirmek için yararlı önerileri ve yorumları için teşekkür ederiz.

Kurumsal İnceleme Kurulu Beyanı:Uygulanamaz.

Bilgilendirilmiş Onay Beyanı:Uygulanamaz.

Veri Kullanılabilirliği Beyanı:MOD16 evapotranspirasyon verilerine NASA'dan erişilebilir (<https://search.earthdata.nasa.gov/>, 20 Şubat 2024'te erişildi). Meteorolojik verilere Çin Ulusal Bilim ve Teknoloji Altyapısı, Ulusal Dünya Sistem Bilim Veri Merkezi'nden erişilebilir (<http://www.geodata.cn>, 20 Şubat 2024'te erişildi), MCD12Q1 MODIS/Terra + Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V006 veri seti ve NASA'nın EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (20 Şubat 2024'te erişildi)<https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.006>).

Çıkar Çatışmaları:Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Referanslar

- Ding, L.; Yu, Y.; Zhang, S. Yangtze Nehri Deltası'ndaki Potansiyel Buharlaşmanın Trend Projeksiyonları ve Belirsizlik. *Atmosfer* **2024**, *15*, 357. [[ÇaprazRef](#)]
- Fisher, JB; Meiton, F.; Middleton, E.; Hain, C.; Anderson, M.; Allen, R.; McCabe, MF; Hook, S.; Baldocchi, D.; Wood, EF; ve diğerleri. Buharlaşmanın geleceği: Ekosistem işleyişi, karbon ve iklim geri bildirimleri, tarımsal yönetim ve su kaynakları için küresel gereksinimler. *Su Kay.Ar.* **2017**, *53*, 2618–2626. [[ÇaprazRef](#)]
- Li, X.; Zou, L.; Xia, J.; Dou, M.; Li, H.; Song, Z. İklim değişikliğinin ve arazi kullanımı/örtüsü değişiminin Çin'deki buharlaşmanın zamansal ve mekânsal değişimi üzerindeki etkilerinin çözülmesi. *J. Hidrolik.* **2022**, *612*, 128189. [[ÇaprazRef](#)]
- Jasechko, S.; Sharp, ZD; Gibson, JJ; Birks, SJ; Yi, Y.; Fawcett, PJ Terlemenin baskın olduğu karasal su akışları. *Doğa* **2013**, *496*, 347–350. [[ÇaprazRef](#)]
- Prvlie, R.; Piticar, A.; Roca, B.; SfîcA, L.; Bandoc, G.; Tiscovschi, A.; Patriche, C. 1961-2013 yılları arasında Romanya'daki iklimsel su dengesinin yağış ve referans buharlaşma-terleme eğilimlerine yanıt olarak zamansal-mekansal değişimleri. *Ked* **2019**, *172*, 295–312. [[ÇaprazRef](#)]
- Dey, P.; Mishra, A. İklim değişikliğinin ve insan faaliyetlerinin akış üzerindeki etkilerinin ayrılması: Metodolojilerin ve kritik varsayımların incelenmesi. *J. Hidrolik.* **2017**, *548*, 278–290. [[ÇaprazRef](#)]
- Wang, Q.; Cheng, L.; Zhang, L.; Liu, P.; Qin, S.; Liu, L.; Jing, Z. 1982-2016 yılları arasındaki sürekli uzaktan algılama gözlemlerine dayalı olarak arazi örtüsündeki değişikliklerin küresel buharlaşma üzerindeki etkilerinin nicelleştirilmesi. *J. Hidrolik.* **2021**, *598*, 126231. [[ÇaprazRef](#)]

8. Li, X.; Pang, Z.; Xue, F.; Ding, J.; Wang, J.; Xu, T.; Xu, Z.; Ma, Y.; Zhang, Y.; Shi, J. Çok Kaynaklı Uzaktan Algılama Verilerine Dayalı Evapotranspirasyondaki Mekansal ve Zamansal Değişimlerin Analizi ve Bunu Etkileyen Faktörler: Heihe Nehri Havzası'nın Bir Vaka Çalışması. *Uzaktan Algılama* **2024**, *16*, 2696. [ÇaprazRef]
9. Dunne, K.A.; Millly, P.C.D Potansiyel buharlaşma ve kıtasal kuruma. *Nat. Clim. Chang.* **2016**, *6*, 946–949. [ÇaprazRef]
10. Zhang, S.; Zhang, P.; Zhang, R.; Liu, T. Horqin Kumlu Toprakları'nın tipik bir alanında büyüme mevsimi buharlaşma transpirasyonunun tahmini ve değişimi. *İleri Su Bilim* **2018**, *29*, 768–778. (Çince) [ÇaprazRef]
11. Huang, K.; Lu, Y.; Wei, Z.; Chen, H.; Zhang, B.; Ma, W. Haihe Nehri Havzasında Arazi Kullanımının ve İklim Değişikliğinin Evapotranspirasyonun Zamansal ve Mekansal Değişimleri Üzerindeki Etkileri. *J. Coğrafya-Bilgi* **2019**, *21*, 1888–1902. (Çince)
12. Zhang, Z.; Li, R.; Wang, X.; Wang, Y.; Jia, B. Hetao Sulama Alanında Evapotranspirasyonun Mekansal-Zamansal Değişimi ve Bunun İtici Gücünün Analizi. *Ekol Bil.* **2023**, *42*, 9–17. (Çince)
13. Mu, Q.; Heinsch, F.A.; Zhao, M.; Çalıştırma, S.W MODIS ve küresel meteoroloji verilerine dayalı küresel bir buharlaşma-terleme algoritmasının geliştirilmesi. *Uzaktan Algılama Çevre* **2007**, *111*, 519–536. [ÇaprazRef]
14. Yang, J.; Zhou, X.; Cheng, D.; Zhang, J.; Niu, Q. Guizhou Eyaletinin Farklı Jeomorfik Tiplerinde MOD16 Evapotranspirasyonunun Mekansal-Zamansal Değişim Özellikleri. *Toprak Su Koruma Res.* **2019**, *26*, 216–222. (Çince)
15. Zhang, K.; Zhu, G.; Ma, J.; Ma, J.; Yang, Y.; Shang, S.; Gu, C. Modis evapotranspirasyon algoritması ve çok ölçekli doğrulama için parametre analizi ve tahminler. *Su Kay.Ar.* **2019**, *55*, 2211–2231. [ÇaprazRef]
16. Dziki, S.; Jovanović, Y.; Yeni Zelanda; Bagan, R.D.; Ramoelo, A.; Majosi, N.P.; Nickless, A.; Cho, M.A.; Maitre, D.C.L.; Ntshidi, Z.; Pienaar, H.H. Evapotranspirasyonun tahmini için iki uzaktan algılama modelinin karşılaştırılması: Güney Afrika'daki mevsimsel kurak ekosistemlerde algoritma değerlendirmesi ve uygulaması. *J. Kurak. Toprak* **2019**, *11*, 495–512. [ÇaprazRef]
17. Chen, H.; Chen, Y.; Song, H.; Montri, S.; Nuttapon, K.; Zhang, J. 2001-2020 yılları arasında tropikal Lancang-Mekong Nehri Havzası'ndaki arazi örtüsü değişiminin buharlaşma ve terleme üzerindeki etkileri. *Trans. Çin. Sosyal. Ziraat. Müh.* **2022**, *38*, 113–122. (Çince)
18. Cheng, M.; Jiao, X.; Jin, X.; Li, B.; Liu, K.; Shi, L. Uydu zaman serisi verileri, Çin'de etki faktörlerine yanıt olarak yıllık ve mevsimsel mekansal-zamansal buharlaşma modellerini ortaya koymaktadır. *Tarımsal Su Yönetim* **2021**, *255*, 107046. [ÇaprazRef]
19. Wang, C.; Cui, D.; Cong, Z.; Xie, H. MODIS ET Verilerine Dayalı Tarım Nehri Ana Akımındaki Karasal Buharlaşmanın Analizi. *J. Yili Norm. Üniv.* **2018**, *12*, 50–56. (Çince)
20. Adilal, W.; Yusufujiang, R.; Reylal, K.; Jiang, H. Lli Nehri Vadisinde Uzun-zamansal Dağılım ve Evapotranspirasyonun Değişim Eğilimi. *J. Coğrafya-Bilgi* **2018**, *20*, 217–227. (Çince)
21. Amannisa, K.; Mansuer, S.; Aikedan, Y.; Asiya, A.; Kunbike, B. Son 19 yılda Sincan'daki Aksu Nehri Havzası'nda ekilebilir arazi kullanımının mekansal ve zamansal evrimi. *Bilg. Toprak Su Koruma* **2022**, *20*, 72–80. (Çince)
22. Ulusal Dünya Sistemi Bilim Veri Merkezi, Çin Ulusal Bilim ve Teknoloji Altyapısı. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://www.geodata.cn> (20 Şubat 2024'te erişildi).
23. Evet, H. *Yangtze ve Sarı Nehir Kaynak Bölgesinde Son 17 Yılda ET'nin Uzaysal-Zamansal Özellikleri ve İklim Faktörleri Arasındaki İlişkisi*; Chengdu Teknoloji Üniversitesi: Chengdu, Çin, 2019. (Çince)
24. Deng, X.Y.; Liu, Y.; Liu, Z.H.; Yao, J.Q. Kuzeybatı Çin'in kurak bölgesindeki buharlaşmanın zamansal-mekansal dinamik değişim özellikleri. *Acta Ecol. Sin.* **2017**, *37*, 2994–3008. (Çince)
25. Wang, G.; Sun, G.; Wei, Y.; Wang, L.; Zhao, R.; Mo, C. Chengbihe Havzasında 1990'dan 2019'a NDVI'nin Mekansal-Zamansal Değişimi ve Onu Etkileyen Faktörlerin Analizi. *Toprak Su Koruma Res.* **2022**, *29*, 207–214. (Çince)
26. Liu, X.; Zheng, H.; Zhang, M.; Liu, C. Tibet Platosu'nda tava buharlaşma eğilimi için baskın iklim faktörünün belirlenmesi. *Coğrafya Bilimleri Dergisi* **2011**, *21*, 594–608. (Çince) [ÇaprazRef]
27. Zhao, A.; Zhang, A.; Feng, L.; Dongli, W. Haihe Nehri havzasında su kullanım verimliliğinin zamansal-mekansal özellikleri ve iklim faktörleriyle ilişkisi. *Acta Ecol. Sin.* **2019**, *39*, 1452–1462. (Çince)
28. She, D.; Xia, J.; Zhang, Y. Çin'in Sarı Nehir Havzası'nın orta kesimlerinde referans buharlaşma ve terlemedeki değişimler ve bunları yönlendiren faktörler. *Bilim. Toplam Çevre* **2017**, *607–608*, 1151–1162. [ÇaprazRef]
29. Lian, R.; Zeng, Q. Topoğrafya etkileri olan bir iklim dinamiği modeli için güçlü bir çözüm ve yörünge çekicisinin varlığı. *J. Matematik. Anal. Uygulama* **2018**, *458*, 628–675. [ÇaprazRef]

Yasal Uyarı/Yayıncının Notu: Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca bireysel yazar(lar) ve katkıda bulunan(lar) a aittir ve MDPI ve/veya editör(ler) e ait değildir. MDPI ve/veya editör(ler), içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan herhangi bir kişi veya mal yaralanmasından sorumlu değildir.