



Avrupa Birliğı tarafından
finanse edilmektedir



Akıllı Sulama Sistemlerinde Veri Okuma, Yorumlama ve Uygulama Örnekleri

Daha Yeşil Yarınlar için Hassas Tarım:
Sürdürülebilir Tarım Savunuculuđu Projesi

IPAI/2023/451-911

Doç. Dr. Hüseyin T. Gültaş

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Biyosistem Mühendisliđi Bölümü



huseyin.gultas@bilecik.edu.tr

Bu yayın Avrupa Birliğı tarafından finanse edilmiştir. İçeriğinin tüm sorumluluğu Uluslararası Tarım ve Gıda
Konfederasyonu'na aittir ve Avrupa Birliğı'nın görüşlerini yansıtmamaktadır.



Oturumun amacı ve öğrenme çıktıları

45 dakikalık oturum için önerilen akademik çerçeve

- Sensör, meteoroloji ve saha gözlemi verilerinin sulama yönetimindeki rolünü açıklamak.
- Ham verinin kalite kontrol, yorumlama ve karar destek sürecinden nasıl geçtiğini göstermek.
- Toprak nemi, bitki su tüketimi ve eşik değer kavramlarını uygulama diliyle ilişkilendirmek.
- Akıllı sulama sistemlerinde örnek vaka akışları üzerinden karar mantığını tartışmak.

Ana soru: Veri ne zaman bilgiye, bilgi ne zaman sulama kararına dönüşür?

Akıllı sulama: yalnızca otomasyon değil, karar destek süreci

- Akıllı sulama; sensör, iklim verisi, saha bilgisi ve kontrol ekipmanının birlikte çalışmasıdır.
- Temel hedef, sulamayı doğru zamanda, doğru miktarda ve uygun yöntemle uygulamaktır.
- Sistem başarısı, yalnızca cihaz kalitesine değil, veri kalitesi ve yorumlama kapasitesine bağlıdır.
- İzleme, karar ve uygulama döngüsü düzenli olarak kalibre edilmelidir.



Sistemin veri kaynakları

Sensör verisi tek başına yeterli değildir; çoklu veri katmanları birlikte yorumlanır

Veri kaynağı	Örnek değişkenler	Karar sürecindeki rolü
Toprak sensörleri	Nem, sıcaklık, EC	Kök bölgesindeki su durumu ve stres riski
Meteoroloji	Yağış, sıcaklık, nem, rüzgar, radyasyon	ET0, yağış etkisi ve kısa dönem ihtiyaç
Bitki/uzaktan algılama	NDVI, bitki gelişimi, stres göstergeleri	Bitki tepkisinin izlenmesi ve alan içi farklılıklar
Sulama altyapısı	Debi, basınç, vana durumu	Uygulanan suyun doğrulanması ve arıza tespiti
Saha gözlemi	Toprak yapısı, kök derinliği, fenoloji	Veri yorumunun yerel koşullara uyarlanması

Toprak nemi verisini okuma: kök bölgesi yaklaşımı



- Ölçüm derinliği, aktif kök bölgesi ve ürün gelişme dönemine göre seçilmelidir.
- Tek bir sensör değeri yerine zaman serisi eğilimi yorumlanmalıdır.
- Sulama sonrası nem artışı, suyun kök bölgesine ulaşp ulaşmadığını gösterir.
- Derin sensörde aşırı nem artışı, derine sızma ve su kaybı riski olarak değerlendirilebilir.

Yorumlama ilkesi: Noktasal ölçümü saha bilgisiyle birlikte değerlendirin.

Veri kalitesi: akıllı sistemlerin en kritik aşaması

- Kalibrasyon: Sensör çıktıları toprak bünyesi ve yerel koşullarla uyumlu hale getirilmelidir.
- Temsil gücü: Sensör noktası, parselin ortalama koşullarını veya kritik yönetim zonunu temsil etmelidir.
- Süreklilik: Veri kesintileri, batarya sorunları ve bağlantı problemleri karar sürecini zayıflatır.
- Aykırı değer kontrolü: Ani sıçramalar, sensör yerinden oynama veya sulama hattı etkisiyle oluşabilir.
- Doğrulama: Ölçümler arazi gözlemi, yağış/sulama kayıtları ve bitki durumu ile karşılaştırılmalıdır.

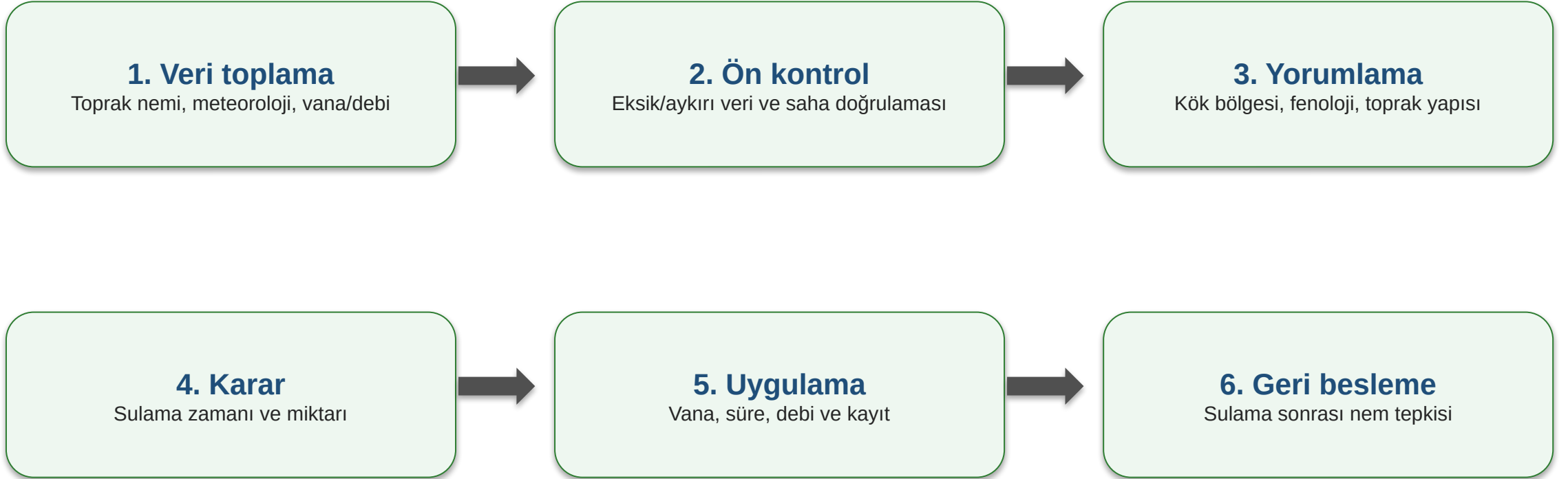
Kalibrasyon

Temsil

Süreklilik

Doğrulama

Veriden sulama kararına geiş: basitleştirilmiş karar akışı



Karar destek sisteminin değeri, ölçümü uygulamaya bağlayan bu döngünün düzenli işletilmesidir.

Eşik değer mantığı: ne zaman sulamalıyız?

Eşikler ürüne, toprağa, kök derinliğine ve yönetim hedefine göre değişir

- Tarla kapasitesi: Sulama sonrası toprakta tutulabilen suyun üst sınırına yakın durum.
- İzin verilen tüketim: Bitki strese girmeden kullanılabilecek su miktarı.
- Solma noktası: Bitkinin su alamadığı kritik alt sınır.
- Pratik yaklaşım: Sensör verisi, sulama kayıtları ve bitki fenolojisi birlikte değerlendirilir.



Kavramsal temel: FAO-56, crop evapotranspiration ve sulama zamanlaması yaklaşımları.

Sulama miktarı: yalnızca “aç/kapat” kararı değildir

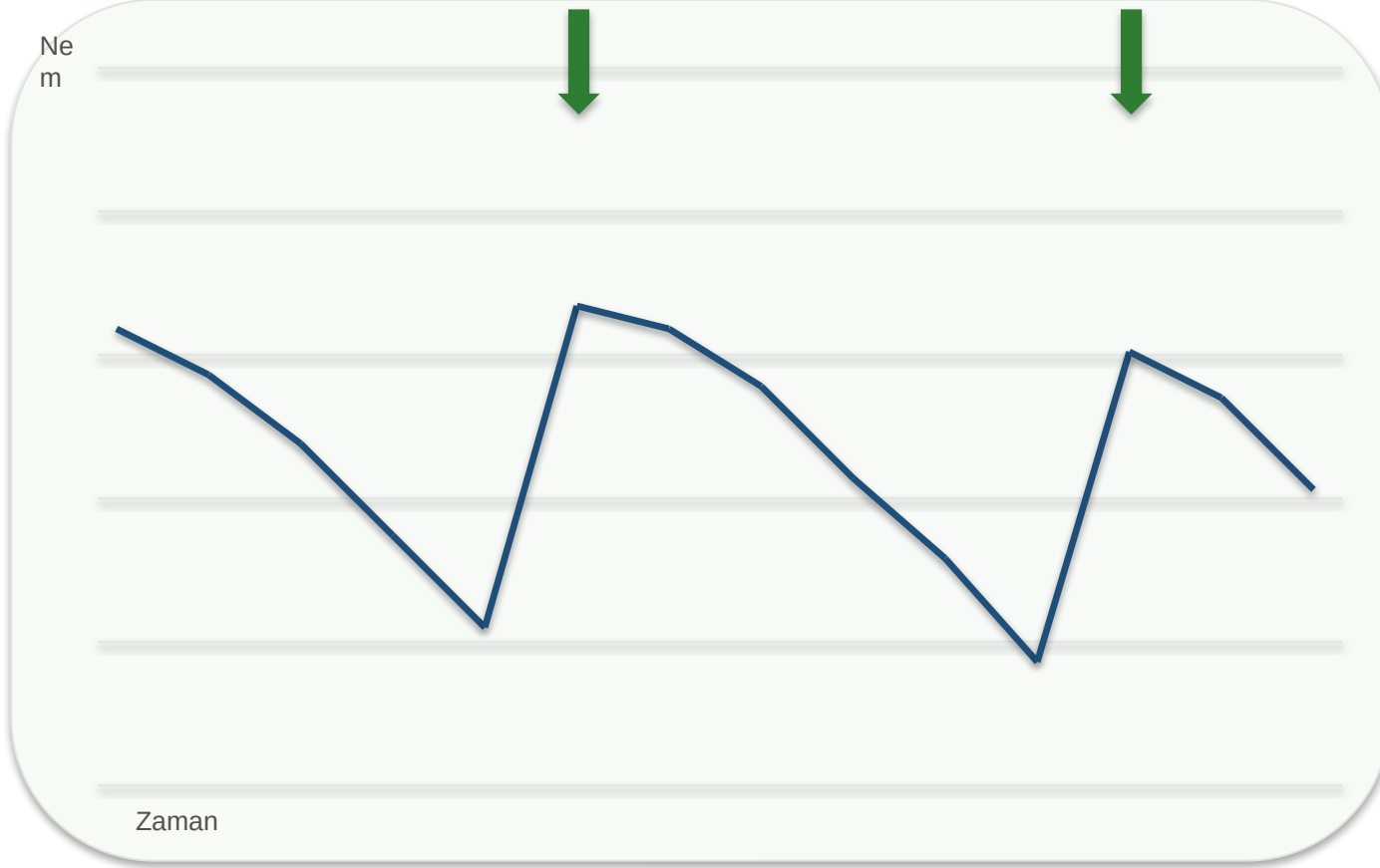
- Sulama ihtiyacı; bitki su tüketimi, etkili yağış, toprak su depolama kapasitesi ve sulama randımanına göre değerlendirilir.
- Sensörler, toprağın mevcut su durumunu gösterir; meteoroloji verisi ise yakın dönem su talebini açıklar.
- Debi ve çalışma süresi kaydı, uygulanan su miktarının izlenmesi için gereklidir.
- Karar destek araçları, “ne zaman” ve “ne kadar” sorularını birlikte cevaplamalıdır.

$$\text{Sulama ihtiyacı} = \text{Bitki su tüketimi} - \text{etkili yağış} + \text{kök bölgesi eksikliği} / \text{sistem randımanı}$$

Önemli: Formül sahaya uyarlanmadan otomatik karar vermek risklidir.

Örnek veri okuma: sulama sonrası sensör tepkisi

Temsili grafik: zaman serisinde eğilim ve uygulama etkisi



- Sulama sonrası beklenen tepki, kök bölgesinde nem artışıdır.
- Nem artışı çok hızlı düşüyorsa buharlaşma, drenaj veya düşük tutma kapasitesi düşünülebilir.
- Derin katmanda aşırı artış, fazla sulama veya derine sızma göstergesi olabilir.
- Veri, sulama kaydı olmadan eksik yorumlanır.

Örnek vaka 1: tarla bitkilerinde sensör destekli sulama

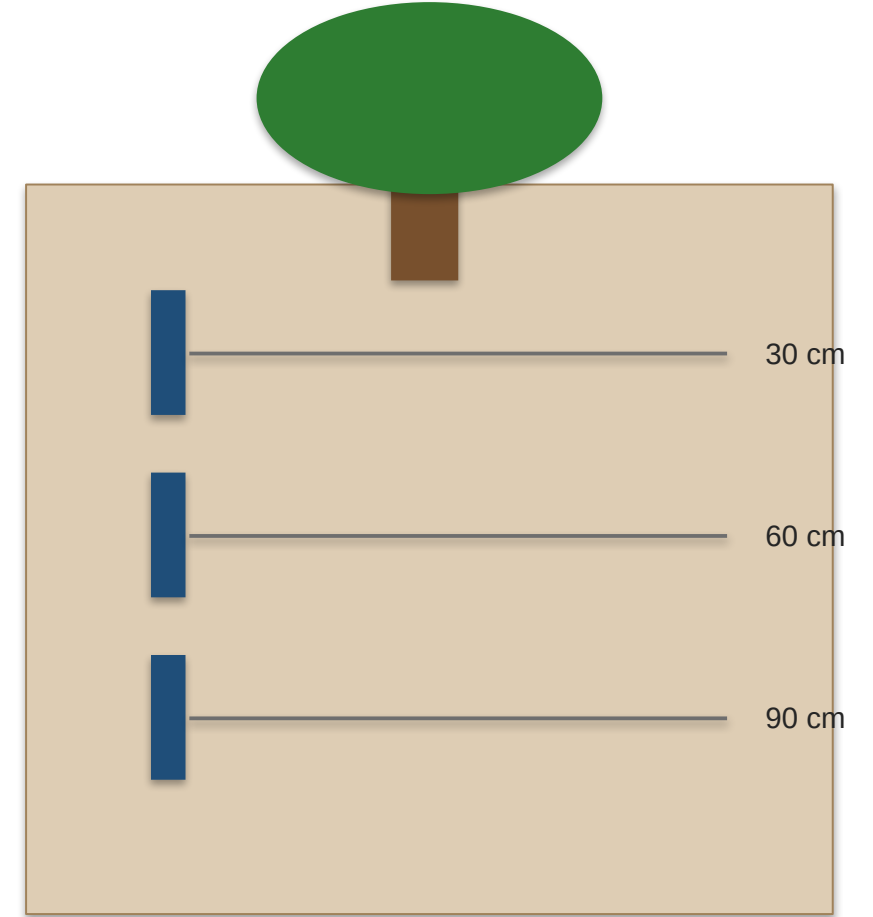
- Kapsam: Geniş parsel, sınırlı su kaynağı, değişken toprak yapısı.
- Veri: Kök bölgesi nem sensörleri, meteoroloji istasyonu, debi/çalışma süresi kayıtları.
- Yorum: Sulama eşiği ürün gelişme dönemine göre güncellenir.
- Karar: Kritik dönemlerde su stresi azaltılır; düşük duyarlılık dönemlerinde kontrollü su yönetimi uygulanabilir.
- Beklenen kazanım: Daha izlenebilir su kullanımı, daha iyi zamanlama ve kayıp riskinin azaltılması.



Ders mesajı: Alan içi değişkenlik dikkate alınmadan tek bir sensör tüm parseli temsil etmeyebilir.

Örnek vaka 2: meyve bahçelerinde çok derinlikli izleme

- Bahçe bitkilerinde kök derinliği, damlatıcı konumu ve ağaç yaşı sensör yerleşimini belirler.
- Çok derinlikli sensörler suyun kök bölgesinde kalıp kalmadığını izlemek için değerlidir.
- Yüzey katmanda hızlı kuruma normal olabilir; derin katman tepkisi aşırı sulamayı gösterebilir.
- Fenolojik dönemler, sulama eşiğinin ve stres toleransının yorumlanmasında belirleyicidir.



Örnek vaka 3: sera ve kontrollü üretimde hızlı karar döngüsü

Bileşen	Sera koşullarında yorum	Sulama kararına etkisi
Substrat/toprak nemi	Kısa aralıklarla hızlı değişim gösterebilir	Daha sık ve küçük dozlu sulama
EC izleme	Tuz birikimi ve besin çözeltisi etkisini gösterir	Yıkama/denge sulaması ihtiyacı
Sıcaklık-nem	VPD ve bitki transpirasyonunu etkiler	Gün içi sulama zamanlaması
Drenaj verisi	Uygulanan suyun fazlalığını gösterebilir	Doz ve süre ayarı

Sera koşullarında veri yorumlama sıklığı artar; karar gecikmesi verim ve kaliteyi hızla etkileyebilir.

Sahada uygulama için kontrol listesi

Eğitim sonunda katılımcılarla tartışılacak pratik çerçeve

- ☐ Sensör derinlikleri ürün kök gelişimine göre seçildi mi?
- ☐ Sensör noktaları parseldeki farklı yönetim zonlarını temsil ediyor mu?
- ☐ Sulama kayıtları debi, süre ve tarih olarak düzenli tutuluyor mu?
- ☐ Veriler yağış ve meteoroloji kayıtlarıyla birlikte okunuyor mu?
- ☐ Aykırı değer ve veri kesintisi için kontrol prosedürü var mı?
- ☐ Sulama sonrası sensör tepkisi her uygulamadan sonra değerlendiriliyor mu?
- ☐ Çiftçi/operatör için basit ve anlaşılır karar kuralları oluşturuldu mu?

Sonuç: akıllı sulamada başarı için üçlü denge



- Akıllı sulama sistemleri, sensör okuması kadar saha bilgisi ve karar mantığı gerektirir.
- Veri kalite kontrolü yapılmadan otomatik sulama güvenilir bir yönetim yaklaşımı değildir.
- Amaç yalnızca su tasarrufu değil; verim, kalite, enerji kullanımı ve sürdürülebilirlik dengesidir.

Tartışma sorusu: Hangi ürün ve bölgelerde sensör destekli sulama en hızlı fayda sağlar?

Seilmiř kaynaklar ve ileri okuma

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- FAO. (2021). The AquaCrop model: Enhancing crop water productivity. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Lakhari, I. A., et al. (2024). A review of precision irrigation water-saving technology under changing climate. Agriculture, 14(7), 1141.
- Savva, A. P., & Frenken, K. Crop water requirements and irrigation scheduling. FAO Land and Water Training Manual.
- Sharma, V., et al. (2025). Smart irrigation systems in agriculture: An overview. Computers and Electronics in Agriculture.
- Ek not: Sunumdaki saha gorsellerinin bir kısmı eğitim amalı retilmiř temsili gorsellerdir; teknik ierik literatr erevesine gre hazırlanmıştır.