

Kümeslerin Su Gereksiniminin Yağmur Suyu Hasadından Karşılanması Üzerine Bir Araştırma: Kahramanmaraş Örneği

Ali ÇAYLI[✉]

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkoğlu MYO, 46880, Türkoğlu-Kahramanmaraş

<https://orcid.org/0000-0001-8332-2264>

✉: alicayli@ksu.edu.tr

ÖZET

Kümeslerde yaz aylarında uygun çevre koşullarının sağlanması için evaporatif serinletme sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, çeşitli koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte oldukça yüksek seviyelerde suya gereksinim duymaktadır. Bu durum suyun kıt olduğu veya erişiminde zorluklar bulunan bölgelerde sorun oluşturabilir. Bu nedenle ihtiyaç duyulan suyun karşılanması için yağmur suyu hasadı (YSH) bir çözüm olabilir. Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesinin doğusunda bulunan Kahramanmaraş ili uzun yıllık saatlik bölge iklim verileri kullanılarak, seçilen bir etlik piliç kümesi için su gereksinimi hesaplanmış ve yağışla depolanabilecek su miktarı ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda su tüketiminin çevresel koşullarla ilişkisi araştırılmış ve uygun depo kapasitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bulgulara göre toplam su gereksinimi, dış ortam sıcaklığın 27°C üzerine çıktığında evaporatif serinletme sisteminin çalıştırılması durumunda maksimum 1532 L m⁻² yıl⁻¹, ped hava çıkış sıcaklığının 24°C olacak şekilde sistemin kontrol edilmesi durumunda ise 1012.9 L m⁻² yıl⁻¹ olarak bulunmuştur. Aynı koşullar için sadece evaporatif su gereksinimi ise sırasıyla 1060.7 L m⁻² yıl⁻¹ ve 541.6 L m⁻² yıl⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Meteorolojik kayıtlara göre bölgede ortalama yıllık yağış 733.6 L m⁻²dir. Bu durumda toplam su gereksinimi her koşulda yağmur suyu hasadı ile karşılanamamaktadır. Ancak sadece belli koşullarda evaporatif serinletme su gereksinimi yağmur suyu hasadı ile karşılanabilir.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi

Geliş Tarihi : 10.12.2020

Kabul Tarihi : 09.02.2021

Anahtar Kelimeler

Yağmur suyu hasadı

Etlik piliç

Kümesler

Su gereksinimi

Evaporatif serinletme

Investigation of the Meeting Poultry House Water Requirement from Rainwater Harvesting: The Case of Kahramanmaraş

ABSTRACT

Evaporative cooling systems are widely used in poultry houses to provide suitable environmental conditions in summers. Although these systems vary depending on the conditions, they require considerable amounts of water, which can be problematic in regions where water is scarce or difficult to access. Therefore, rainwater harvesting is a solution to provide the needed water. In this study, the water requirement for a selected broiler house was calculated using the long annual hourly regional climate data in Kahramanmaraş province in the eastern Mediterranean region of Turkey. The requirement was compared with the amount of water that can be stored from precipitation. According to the findings, the total water requirement was 1532 L m⁻² year⁻¹ when the outdoor temperature exceeds 27°C when the evaporative cooling system is operated and was 1012.9 L m⁻² year⁻¹ when the pad air outlet temperature is 24°C. For the same conditions, the evaporative water requirement was calculated as 1060.7 L m⁻² year⁻¹ and 541.6 L m⁻² year⁻¹, respectively. According to the meteorological records, the average annual precipitation in the region is 733.6 L m⁻² year⁻¹. Thus, the total water requirement cannot be met by the rainwater harvest under all

Research Article

Article History

Received : 10.12.2020

Accepted : 09.02.2021

Keywords

Rainwater harvesting

Broiler

Poultry houses

Water requirement

Evaporative cooling

circumstances. However, only the evaporative cooling water requirement can be met under certain conditions.

Atf İçin: Çaylı A 2021. Kümelerin Su Gereksiniminin Yağmur Suyu Hasadından Karşılanması Üzerine Bir Araştırma: Kahramanmaraş Örneği. KSÜ Tarım ve Doğa Derg 24 (5): 1048-1058. DOI: 10.18016/ksutarimdog.a. vi. 838619.
To Cite : Çaylı A 2021. Investigation of the Meeting Poultry House Water Requirement from Rainwater Harvesting: The Case of Kahramanmaraş. KSU J. Agric Nat 24 (5): 1048-1058. DOI: 10.18016/ksutarimdog.a. vi. 838619.

GİRİŞ

Yüzyıllardır bilinen bir yöntem olan su hasadı, günümüzde artan kuraklık sorunlarına bir çözüm olarak yeniden önem kazanmaktadır. Yağış yoğunluğuna bağlı olarak potansiyel bir kaynak olan yağmur suyu, su ve gıda krizini azaltabilir (Helmreich ve Horn, 2009). Yağmur suyu toplama sistemi üç temel unsurdan oluşur: toplama alanı, nakil sistemi ve depolama tesisleri. Çoğu durumda toplama alanı bir evin veya binanın çatısıdır. Etkili çatı alanı ve çatının yapımında kullanılan malzeme toplama verimliliğini ve su kalitesini etkiler (Dos Anjos, 1998, Mun ve Han, 2012). Çatıdan toplanan suyun kalitesi, genellikle içme suyu kılavuz değerlerini karşılamadığı görülmektedir (Meera ve Ahammed, 2006). İçme suyunun kalitesindeki bozulmalar çeşitli hastalıklara yol açabilmekte ve üretim performansını olumsuz etkilemektedir (Barton, 1996; Grizzle ve ark., 1996; Grizzle ve ark., 1997).

İçme suyunun çatıdan yağmur suyu hasat yöntemi ile sağlanması, yağışla birlikte kentsel atmosferde bulunan aerosoller, çeşitli zararlı gazlar ve ince uçucu parçacıklarla çatı yüzeyindeki partiküllerin yıkanması sonucu suyun kirlenmesine neden olabilir. Özellikle kimyasal kirlenme maddeleri su kalitesini etkileyen en ciddi problemdir (Leeson ve Summers, 2005). Yüksek derecede kirli ilk yağmur suyunun atılmasından sonra, bazı fiziksel işlemlerle (sedimentasyon ve pH artışı), yağmur suyu hasadı kalitesinin artırılması mümkündür (Sánchez ve ark., 2015). Bu yöntemle elde edilen suların kirliliğini en aza indirmek için uygun tasarım ve bakım stratejileri üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Chiu ve ark., 2009; Abbasi ve Abbasi, 2011; Mun ve Han, 2012).

Tropik ve ılıman iklim koşullarında yapılan kanatlı işletmelerinde yaz aylarında yüksek sıcaklıkların etkisi ile üretim olumsuz etkilenmektedir. Çünkü kümes hayvanları yüksek sıcaklıklara oldukça hassas canlılardır. 27°C'nin üzerinde sıcaklıklarda sıcaklık stresi etkisi ile yem tüketimleri azalmakta ve üretim performanslarında düşüşler görülmektedir (Atılğan ve Mutlu, 2000; Köknaroglu ve Atılğan, 2007; Atılğan ve ark., 2012). Yüksek sıcaklıkların görüldüğü yaz aylarında, ısı stresini azaltmak için kullanılan evaporatif serinletme sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, havadaki duyulur ısının gizli ısıya dönüştürülmesi esasına göre çalışmaktadır. Düşük bağıl nem koşullarına sahip bölgelerde dış ortam iklim koşulların bağıl olarak 10–17°C'ye kadar sıcaklık düşüşü sağlanabilmektedir (Uğurlu ve Kara, 2000;

Laknizi ve ark., 2019). Kurak bölgelerde ise nispeten daha yüksek miktarda suya ihtiyaç duyulmaktadır (Von Zabeltitz, 2011).

Lindley ve Whitaker (1996) evaporatif serinletme sisteminde pedler için 0.42 L dak⁻¹ m⁻² su tüketimi önermektedir. Donald (2000) ise kümesin her 30 m³lük havasının sıcaklığını 1°C düşürmek için bir litre suyun buharlaşmasına ihtiyaç olduğunu bildirmektedir. Laknizi ve ark. (2019) evaporatif serinletme sisteminin etkinliğinin %80'in üzerinde olması durumunda 3.3 L h⁻¹ su tüketimi olacağını rapor etmiştir. Von Zabeltitz (2011), fan-ped sistemi ile serinletilen bir serada birim taban alanı için 60-210 m³ h⁻¹ havalandırma debilerinde 1.080–1.260 g h⁻¹ su tüketimi olduğunu bildirmektedir. Koç ve Yıldız (2008) farklı su akış debilerinde fan-ped sisteminin su tüketimin belirlenmesine yönelik çalışmasında su tüketiminin 0.017–0.203 L min⁻¹ m⁻² arasında olduğunu rapor etmiştir. Singleton (2004) göre, su tüketiminin, 20°C'den sonraki her 1°C'lik artış için %6 oranında artmaktadır.

Su, hayati bir besin maddesi olmasının yanı sıra, vücut ısısının kontrolü, gıdaların sindirimi ve emilmesi, besin maddelerinin taşınması ve atıkların idrarla vücuttan uzaklaştırılmasını içeren kanatlı metabolizmasının birçok yönüyle ilişkilidir (Jafari ve ark., 2006). Mevcut araştırmalar, piliçlerin akut ısı stresi sırasında su tüketimini ve suyun böbreklerde kullanımını ayarladığını ve bu kullanımın evaporatif ısı kaybını etkilediğini göstermektedir (Belay ve Teeter, 1993; Teeter ve Belay, 1996; Alleman ve Leclercq, 1997). Su tüketiminin azalması ile yem tüketimi de azalarak üretim performanslarını olumsuz etkilebilmektedir (Pesti ve ark., 1985). Su alımının daha yüksek olduğu piliçlerde, daha az ölüm oranı görülmekte ve ısı stresi koşullarında, hayatta kalma kabiliyetleri de artmaktadır (Ahmad ve Sarwar, 2005). Bununla birlikte uygun çevresel koşullarda yüksek hava hızına maruz kalan piliçlerde daha az su ve daha fazla yem tüketimi ile daha fazla ağırlık kazanım oranı elde edilebilmektedir (May ve ark., 2000; Feddes ve ark., 2002).

Kentsel alanlarda yapılan birçok çalışmada yağmur suyu hasadı ile içme suyu dışında evsel su ihtiyacının büyük oranda karşılanabileceği, özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde zaten kısıtlı olan suyun bu yöntemle temin edilebileceği yönünde yapılan araştırmalar, bu çalışma için de bir motivasyon sağlamıştır. Özellikle yaz aylarında yüksek su gereksinimi olan kanatlı işletmelerinde, bu

gereksinimleri yağmur suyu hasadı (YSH) karşılanabilir. Ancak yaz aylarında yeterli yağışın olmaması nedeniyle yağış olan aylarda hasat edilecek suyun depolanması gerekir. Bu nedenle yapılacak depo tesisinin kapasitesinin belirlenmesi de önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, yaz aylarında yüksek sıcaklıkların görüldüğü Akdeniz iklimine sahip Kahramanmaraş ili için su gereksinimini günlük olarak belirlemek, içme ve serinletme sistemi de dahil ihtiyaç duyulan bu suyun, çatıdan yüzey akışı ile toplanma potansiyeli ve depo kapasitesini farklı senaryolara göre belirlemektir.

MATERYAL ve METOD

Araştırmadaki hesaplamalar, Türkiye'nin güneyinde Akdeniz bölgesinin doğusunda yer alan Kahramanmaraş ilinde, K.S.Ü. HAYMER'e ait, 37° 35' 32" K; 36° 48' 11" D koordinatlarında bulunan 1500 baş kapasiteli etlik piliç kümesi dikkate alınarak yapılmıştır. Bölgeye ait meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) temin edilmiştir. Kümese ait teknik özellikler ise Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Araştırmanın yürütüldüğü kümesin özellikleri

Table 1. Characteristics of the poultry house in this study

Kümes Özelliği (Feature)	Değer (Value)	Birim (Unit)
Uzunluk	21	m
Genişlik	7.2	m
Yan duvar yüksekliği	3.0	m
Mahya yüksekliği	4.5	m
Toplam taban alanı	151.2	m ²
Kullanılabilir taban Alanı	137.2	m ²
Havalandırma debisi	32000	m ³ h ⁻¹
Toplam hava giriş ped alanı	6.0	m ²

Kahramanmaraş Orta Ceyhan havzasında üç coğrafi bölgenin kesişim noktasında bulunmaktadır. Kuzeye doğru karasal iklim, il merkezi ve güneye doğru gittikçe Akdeniz iklimi etkisindedir (MGM, 2020a). Yıllık sıcaklık ortalaması 16.9°C, yıllık en yüksek sıcaklık ortalaması 22.9°C ve yıllık en düşük sıcaklık ortalaması 11.4 °C'dir. En yüksek sıcaklık temmuz ayında (45.2°C), en düşük sıcaklık ise Şubat ayında (-9.6°C) ölçülmüştür. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 6.8 saattir. En yüksek güneşlenme süresi temmuz ayında 10.5 saat, en düşük güneşlenme süresi ise 3.3 saat ile aralık ve ocak aylarında görülmüştür. Yıllık ortalama yağış miktarı 725.4 mm'dir. Aylık olarak en fazla yağış ortalama 129.6 mm ile ocak ayında en az yağış ise 0.9 mm ile ağustos ayında düşmüştür. (MGM, 2020b)

Bir etlik piliç kümesi için toplam su gereksinimi Eşitlik 1'de verildiği gibi içme suyu tüketimi (S_i), genel kullanım su tüketimi (S_g) ve evaporatif serinletme sistemi su tüketimi (S_s) toplamına eşittir.

$$S_T = S_i + S_g + S_s \quad (1)$$

İçme suyu gereksinimi

İçme suyu tüketimi her yetiştirme döneminde hayvanların gelişme dönemine göre farklılık göstermektedir. Araştırmacılar hesaplamalarda genel olarak bir yetiştirme dönemi için hayvan başına sabit bir içme suyu miktarını dikkate alırken, bazıları ise gelişme dönemine göre hesaplanmasının daha doğru olacağını bildirmektedirler. Etlik piliçlerin bir yetiştirme periyodu boyunca su tüketimleri araştırmacılar tarafından 4.85–7.8 litre olarak verilmektedir. Ayrıca su-yem tüketim oranının 1.6–1.8 arasında olması durumunda su tüketimi yeterli olduğu bildirilmektedir (Pesti ve ark., 1985, Leeson ve Summers, 2005, Manning ve ark., 2007). Viola ve ark. (2008) ise piliç başına günlük yem tüketiminin 2 katı su gereksinimi olduğunu rapor etmiştir. Literatür bilgileri göz önünde bulundurularak su yem dönüşüm oranı 1.77 olarak alınmış ve Aviagen (2019)'un Ross 308 ırkı etlik piliçler için verdiği yem tüketim değerlerine göre su tüketimleri 42 günlük yetiştirme periyodu için Eşitlik 2'ye göre hesaplandığında, ortalama 7.8 litre olarak bulunan değer hesaplamalarda kullanılmıştır.

$$S_i = Y_g * SY * n \quad (2)$$

Burada S_i piliç günlük su tüketimi (m³), Y_g günlük yem tüketimi (g), SY su-yem oranı (g g⁻¹), n piliç sayısıdır.

Toplam su gereksinimi, yetiştirme periyodu 42 gün olacak şekilde ve yılda altı yetiştirme dönemine göre (ocak-şubat, mart-nisan, mayıs-haziran, temmuz-ağustos, eylül-ekim, kasım-aralık) belirlenmiştir. Her dönemin ilk 42 günü için hesaplama yapılmış, kalan 18 günü sonraki üretim dönemine hazırlık periyodu olacağı varsayılarak hesaplama yapılmamıştır.

Temizlik için su gereksinimi

Drastig ve ark. (2016) çalışmasında kümeslerin yılda iki kez temizlenmesi durumunda tavuk başına günlük 0.0028 litre su tüketimi olduğunu bildirmektedir. Bu değeri her bir yetiştirme periyodu için dikkate alarak, su gereksinimi Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır.

$$S_t = 0.0028 * g * n / A \quad (3)$$

Burada; S_t temizlik için su gereksinimi (litre gün m⁻²), g yetiştirme periyodu gün sayısı (gün), n tavuk sayısıdır (baş), A toplam taban alanı (m²).

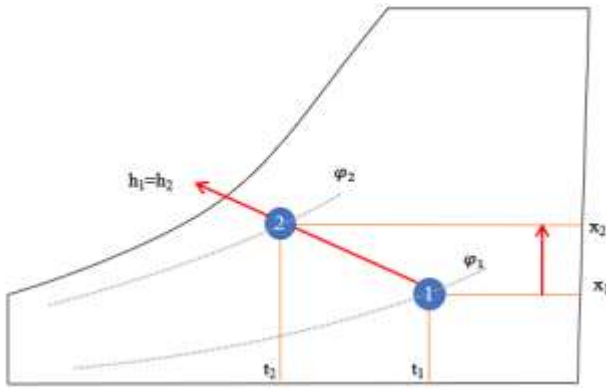
Evaporatif serinletme sistemi için su gereksiniminin belirlenmesi

Evaporatif serinletme için su gereksinimini Drastig ve ark. (2016) her bir yetiştirme döneminde her bir baş

için 5 litre olarak alınabileceğini bildirmiştir. Ancak bölgesel iklim özellikleri, sistemin yapısal özellikleri gibi birçok farklı unsur su tüketim miktarında etkili olabilir. Bu sebeple daha hassas bir hesaplama yapmak amacıyla, bölgenin uzun yıllık saatlik iklim verilerine göre saatlik olarak hesaplamalar yapılarak yıllık su gereksinimi belirlenmiştir.

Kullanılan veri seti, MGM'den temin edilen uzun yıllık saatlik ortalama sıcaklık ve bağıl nem ölçümlerine dayalı olarak hazırlanmıştır. Evaporatif serinletme sisteminin, dış ortam sıcaklığının 27°C'nin üzerine çıktığında çalıştırılması öngörülmüştür. Sistemin çalıştığı saatlerde dış ortam özgül nemi ile kümese giren serinletilmiş nemli havanın özgül nemi arasındaki fark, ihtiyaç duyulan su miktarıdır.

Giren havanın nemlendirilerek duyulur ısının gizli ısıya dönüştürülmesi işleminde havanın entalpi değeri değişmemektedir. Havaya eklenen su miktarına göre kuru termometre sıcaklığında t_1 sıcaklığından t_2 sıcaklığına doğru düşüş görülürken, bağıl nem φ_1 noktasından φ_2 noktasına, nem ise x_1 noktasından x_2 noktasına doğru bir artış görülür (Şekil 1).



Şekil 1. Psikrometrik diyagramda evaporatif soğutma işlemi

Figure 1. Evaporative cooling process in psychrometric diagram

Bu durumda dış ortam ve iç ortama giren havanın bilinen özelliklerini yani sıcaklık ve bağıl nemini kullanarak ideal gaz eşitliğini esas alan psikrometrik eşitliklerle her iki durum için havanın nem içeriği hesaplanabilir.

Bu amaçla mevcut konuma ait atmosfer basıncının hesaplanmasında 4'nolu eşitlik kullanılmıştır (ASHRAE, 2013).

$$p = 101.325 * (1 - 2.25577 * 10^{-5} * Z)^{5.2559} \quad (4)$$

Burada; p Atmosfer basıncı (kPa), Z denizden olan yüksekliğıdir (m).

Sıvı su üzerinde havanın doymun buhar basıncının hesaplanmasında ampirik yöntemlere göre elde edilmiş çeşitli eşitlikler vardır. Bazı araştırmacılar en doğru sonuçların Bolton (1980) tarafından verilen

eşitlikten elde edildiğini bildirmektedirler (Vömel, 2016; Younes, 2016). Bu nedenle doymun buhar basıncı Eşitlik 5'de verilen Bolton (1980)'e göre hesaplanmıştır.

$$p_{ws} = 6.112 * e^{(17.67 * t / (t+243.5))} \quad (5)$$

Eşitlikte; p_{ws} doymun buhar basıncı (hPa), t kuru termometre sıcaklığıdır (°C).

Giren havanın nem içeriği x , Dalton yasasına göre $p_w < p_{ws}$ için aşağıdaki Eşitlik 6 ile hesaplanabilir.

$$x = 0.622 * \frac{\varphi * p_{ws}}{p - (\varphi * p_{ws})} \quad (6)$$

Eşitlikte; x havanın nem içeriği (kg kg⁻¹ KH), φ havanın oransal nemi (%), p_w nemli havanın buhar basıncıdır (kPa).

Entalpi değeri ise Eşitlik 7'e göre hesaplanmıştır (Von Zabeltitz, 1986; ASHRAE, 2013; Baytorun ve Makuay, 2019).

Havanın entalpi değeri;

$$h = c_{pL} * \theta + x * (r_0 + (c_{pd} * \theta)) \quad (7)$$

Eşitlikte; h havanın entalpisi (kJ.kg⁻¹), c_{pL} havanın özgül ısısı (kJ.kg⁻¹K⁻¹), c_{pd} su buharı özgül ısısı (kJ.kg⁻¹K⁻¹), r_0 buharlaşma ısısı (kJ.kg⁻¹), θ kuru termometre sıcaklığıdır. ($c_{pL} = 1.006$ kJ kg⁻¹ K⁻¹, $c_{pd} = 1.85$ kJ kg⁻¹ K⁻¹).

Baytorun ve Makuay (2019) benzer bir çalışmada, giren havanın yeni nem içeriği (x_i) Eşitlik 7'ten x 'in çekilmesiyle elde ederek hesaplamalarda kullanmıştır. Entalpi değerinde değişiklik olmadığından yeni havanın nem içeriği Eşitlik 8'e göre hesaplanabilir.

$$x_i = \frac{h - (c_{pL} * \theta_L^*)}{r_0 + (c_{pd} * \theta_L^*)} \quad (8)$$

Burada, x_i , yeni havanın nem içeriği (kg kg⁻¹ KH), θ_L^* , ped çıkışında istenen hava sıcaklığıdır (°C).

Giren yeni havanın sıcaklığına (θ_L^*) ve nem içeriğine (x_i) bağlı oransal nem ise eşitlik 6'dan φ 'nin çekilmesiyle elde edilen Eşitlik 9 ile hesaplanabilmektedir (Baytorun ve Makuay, 2019).

$$\varphi_i = \frac{p * x_i}{(0.622 + x_i) * p_{ws}} \quad (9)$$

Evaporatif serinletmede birim taban alanı için saatlik tüketilen su miktarı ise Eşitlik 10'ye göre hesaplanabilir.

$$S_s = \sum_{n=1}^{8760} (x_i - x) * Q * n / A \quad (10)$$

Burada Q havalandırma debisi (m³ h⁻¹), n ped etkinlik katsayısı, A yapının toplam taban alanı (m²)'dir.

Yapının çatısından toplanabilecek su miktarı ise Eşitlik 11'e göre hesaplanabilir.

$$YSH = Yg * \eta_t * A \quad (11)$$

Burada, YSH aylık yağış ile depolanabilecek su miktarı (mm ay⁻¹), Yg aylık yağış (mm m⁻²), A taban alan (m²), η_t yağmur toplama verimini göstermektedir.

Depo kapasitesinin hesaplanması

Hesaplanan su gereksinimi birim alan için olduğundan ihtiyaç duyulan su depo kapasitesi kümes taban alanı ile çarpılarak hesaplanabilir. Ayrıca her 1000 baş için ihtiyaç duyulan depo kapasitesinin belirlenmesinde, kümes yoğunluğunun bilinmesi gerekir. Bu çalışmadaki yoğunluk 12 tavuk m⁻² alınmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Kahramanmaraş ili için resmi meteorolojik verilere dayanan (MGM, 2020b) uzun yıllık ortalama yağış miktarı dönemsel olarak Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 incelendiğinde yıllık ortalama yağışın 733.6 mm olduğu görülmektedir. Dönemsel olarak incelendiğinde ise en fazla yağış ocak-şubat ayında, en az temmuz-ağustos aylarında olduğu görülmektedir.

Kahramanmaraş ili için saatlik verilere göre

hesaplanan ve her biri 42 gün olmak üzere yılda altı dönem üretim yapılan bir kümes için 12 tavuk m⁻² yoğunluk için bulunan su gereksinimleri ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kahramanmaraş ili uzun yıllar ortalama dönemsel yağış miktarı

Table 2. The long-term average periodic rainfall for Kahramanmaraş

Dönem (Period)	Yağış (mm) (L m ⁻²) (Precipitation)
Ocak-Şubat	233.2
Mart-Nisan	165.6
Mayıs-Haziran	45.1
Temmuz-Ağustos	1.7
Eylül-Ekim	62.3
Kasım-Aralık	225.7
Toplam	733.6

Çizelge 3. Yıllık su gereksinimi (L m⁻²)

Table 3. Annual water requirement (L m⁻²)

Dönem (Period)	İçme Suyu (Drinking Water)	Genel Kullanım (General Usage)	(1)	(2)
			Evaporatif Serinletme (*) (Evaporative Cooling)	Evaporatif Serinletme (**) (Evaporative Cooling)
Ocak-Şubat	77.38	1.17	0	0
Mart-Nisan	77.38	1.17	0	0
Mayıs-Haziran	77.38	1.17	32.1	79.5
Temmuz-Ağustos	77.38	1.17	402.9	708.5
Eylül-Ekim	77.38	1.17	106.6	272.7
Kasım-Aralık	77.38	1.17	0	0
Toplam	464.3	7.0	541.6	1060.7

(*) Pedden kümese giren havanın en düşük sıcaklığı 24 °C ve dış ortam sıcaklığının 27 °C'nin üzerine çıktığında sistemin çalıştırılması durumundaki su gereksinimi

(**) Islak termometre sıcaklığına kadar soğutulması durumunda gerekli olan su miktarı maksimum olarak ifade edilmiştir.

Çizelge incelendiğinde içme suyu gereksinimi her periyotta 77.38 L m⁻² a⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yılda altı periyotta üretim yapılması durumunda ise toplam içme suyu gereksiniminin 464.3 L m⁻² yıl⁻¹ olduğu görülmektedir. Genel kullanım için gerekli toplam su miktarı ise 7.0 L m⁻² yıl⁻¹'dir. Toplam su gereksinimi ise birinci senaryoda 1012.9 L m⁻² yıl⁻¹, ikinci senaryoda ise 1532 L m⁻² yıl⁻¹ olarak bulunmuştur.

Sadece evaporatif serinletme su gereksinimi incelendiğinde ise kış döneminden bahar aylarına kadar bölgesel iklim koşullarına göre serinletme ihtiyacı olmadığından dolayısıyla evaporatif soğutma sistemi için de suya ihtiyaç olmadığı görülmektedir. Mayıs ayından itibaren ekim ayının başlarına kadar serinletme ihtiyacı olmaktadır. En yüksek su gereksinimi ise yüksek sıcaklıkların görüldüğü temmuz-ağustos aylarında 402.9 L m⁻² olarak ortaya çıkmaktadır. Yıllık su gereksinimi ise 541.6 L m⁻² yıl⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Evaporatif serinletmede teorik olarak ulaşılabilecek en düşük sıcaklık ıslak termometre (T_{wb}) sıcaklığıdır. Bu durumda hava tamamen doymun durumdadır ve daha fazla su buharı taşıyamaz. Ancak uygulamada bu noktaya ulaşmak mümkün olmasa da karşılaştırma amaçlı hesaplamalar yapılmıştır. Teorik olarak ıslak termometre sıcaklığına kadar soğutma yapıldığı durum, yani maksimum su gereksinimi için hesaplanan değerler incelendiğinde toplamda 1.96 kat, mayıs-haziran, temmuz-ağustos, eylül-ekim aylarında sırasıyla 2.48, 1.76 ve 2.56 kat daha fazla su gereksinimi olduğu görülmektedir. Bu durumda maksimum su gereksinimi 1060.7 L m⁻² yıl⁻¹ olarak bulunmuştur.

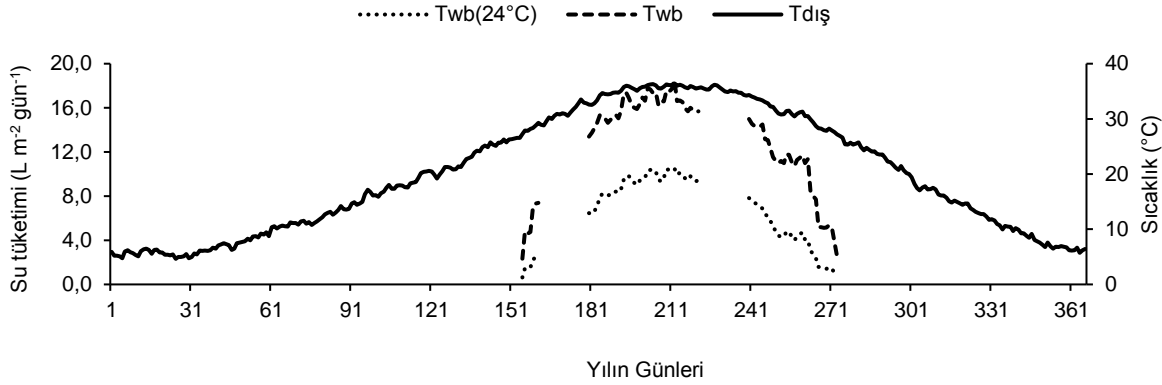
Şekil 2'de günlük maksimum sıcaklıklar ve su gereksinimleri günlük olarak verilmiştir.

Şekil 2'e göre serinletme yılın 155'inci günü başlayarak 273'ncü günü sona ermektedir. En fazla günlük su gereksinimi yılın 212'inci günü olan 30

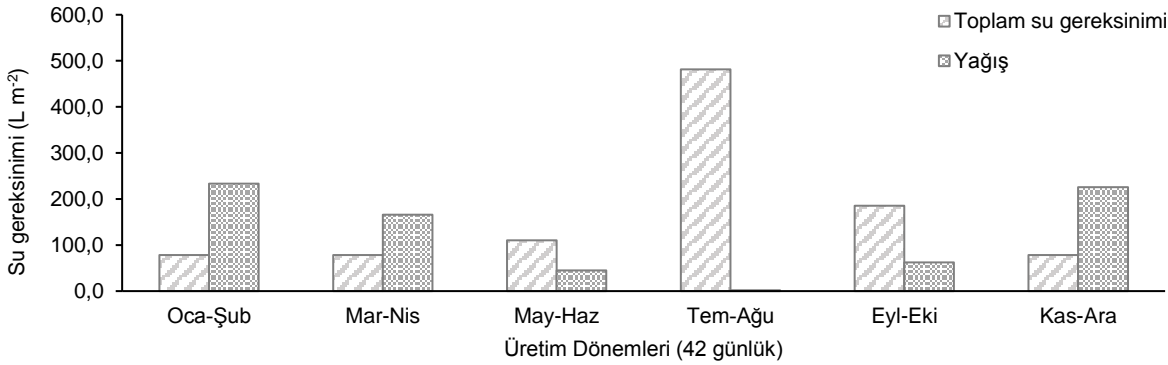
Temmuz'da $18.5 \text{ L m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Aynı güne ait maksimum sıcaklık 36°C , en düşük bağıl nem ise %13 olduğu görülmektedir. Grafikte görülen boşluklar üretime ara verilen dönemleri göstermektedir. Üretim periyotları 42 gün, iki üretim

periyodu arası ise 18 gün olarak planlanmış ve bu dönemlerde hesaplama yapılmamıştır.

Şekil 3'de ise üretim dönemleri için toplam su gereksinimleri ve yağış miktarları birlikte verilmiştir.



Şekil 2. Günlük evaporatif serinletme su gereksinimi ve dış ortam maksimum sıcaklıklar
Figure 2. Daily evaporative cooling water requirement and outdoor maximum temperatures



Şekil 3. Dönemsel su gereksinimi ve yağış miktarı
Figure 3. Seasonal water requirement and amount of precipitation

Şekil 3 incelendiğinde sıcak dönemlerde artan serinletme suyu ihtiyacı olduğu görülmektedir. En yüksek su gereksiniminin olduğu dönem temmuz-ağustos dönemi olarak bulunmuştur. Dönemsel toplam su gereksiniminin yağmur suyu ile karşılanması oransal olarak incelendiğinde ise ocak-şubat ve mart-nisan döneminde ihtiyaç duyulan suyun tamamı yağmur suyu ile karşılanabilmektedir. Mayıs-haziran döneminde ise ihtiyaç duyulan suyun %40'ı, eylül-ekim

döneminde ise %30 karşılanabilmektedir. Temmuz-ağustos ayında yağış olmadığından bu dönemin su gereksiniminin karşılanmasına katkısı yoktur.

Yağmur suyunun sadece evaporatif serinletmede kullanılması durumunda ise toplam gereksinimin karşılanması mümkün olabilir. Bu amaçla farklı serinletme seviyelerinde ihtiyaç duyulan su miktarı Çizelge 4'te verilmiştir.

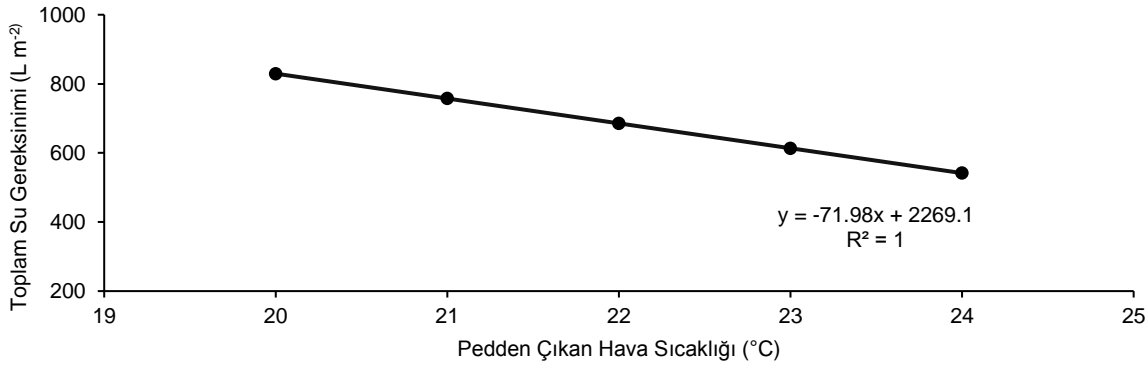
Çizelge 4. Yağış miktarı ve farklı serinletme seviyeleri için evaporatif su gereksinimi
Table 4. Evaporative water requirement for rainfall and different cooling levels

Dönem (Period)	Yağış (L m^{-2}) (Rainfall)	Evaporatif Serinletme Su Gereksinimi (L m^{-2}) (Evaporative water requirement)				
		T_{wb}	$(T_{wb}/0.78)$	22°C	23°C	24°C
Ocak-Şubat	233.2	0	0	0	0	0
Mart-Nisan	165.6	0	0	0	0	0
Mayıs-Haziran	45.1	79.5	51.2	44.3	38.2	32.1
Temmuz-Ağustos	1.7	708.5	477.7	496.0	449.4	402.9
Eylül-Ekim	62.3	272.7	187.9	145.2	125.9	106.6
Kasım-Aralık	225.7	0	0	0	0	0
Toplam	733.6	1060.7	716.8	685.4	613.5	541.6

Çizelge 4 incelendiğinde yıllık yağış ile toplanabilecek suyun sadece evaporatif serinletmede kullanılması durumunda, kümise giren hava sıcaklığının ıslak termometre sıcaklığına ulaşması durumunda depolanabilen su gereksiniminin ancak %69'u karşılanabilmektedir. Ancak teorik olarak bu noktaya kadar havanın soğutulması mümkün olsa da uygulamada bu noktaya ulaşmak mümkün değildir. Bu nedenle ıslak termometre sıcaklığına %78'e kadar yaklaşılması durumunda ki giren havanın nemi ve sıcaklığına bağlı olarak bu sıcaklık 22°C'den daha

düşük bir değere tekabül etmektedir, depolanan su %100 oranında yeterli olabilmektedir.

Şekil 4'te verilen grafikte Çizelge 4'deki veriler kullanılarak pedden çıkan hava sıcaklığı ile evaporatif su gereksinimi ilişkisine dayalı olarak su gereksinimi modellenmiştir. Buna göre pedden çıkan hava sıcaklığı ile evaporatif serinletme su gereksinimi arasında doğrusal bir ilişki vardır. Pedden çıkan hava sıcaklığı azaldıkça, evaporatif serinletme su gereksinimi doğal olarak artmaktadır.



Şekil 4. Kahramanmaraş iklim koşullarında pedden çıkan hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak yıllık evaporatif su gereksinimi

Figure 4. Annual evaporative water requirement as a function of the air temperature leaving the pad in Kahramanmaraş climate conditions

Şekil 4'de verilen grafiğe göre; pedden çıkan hava sıcaklığının (T_p) bir fonksiyonu olarak evaporatif serinletme için yıllık su gereksinimi $T_{sg} = -71.98T_p + 2269.1$ eşitliği ile hesaplanabilir.

YSH için depo kapasitesi

Hasat edilen yağmur suyunun depolanması için farklı serinletme derecelerine göre ihtiyaç duyulan depo kapasiteleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5 incelendiğinde bölgedeki su tüketimlerine

göre farklı depo kapasiteleri bulunduğu görülmektedir. YSH ile toplanacak su ile 1060.7 mm olan maksimum su gereksiniminin karşılanması için çatı alanına ilave olarak %45 daha fazla toplama alanına ihtiyaç duyulmaktadır. Toplam su gereksinimi yani içme ve diğer gereksinimle birlikte ihtiyaç olan 1532 mm suyun karşılanması için toplama alanının 2.1 katı daha fazla toplama alanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değerler ıslak termometre sıcaklığına kadar havanın soğutulması ve sistemin dış ortam sıcaklığının 27°C ve üzerine çıktığında çalıştırılması durumunda ihtiyaç duyulan miktarlardır.

Çizelge 5. Farklı serinletme derecelerine göre ihtiyaç duyulan yağmur suyu depo kapasiteleri

Table 5. Rainwater storage capacities needed for different cooling degrees

#	Serinletme türü (Cooling option)	Yıllık su gereksinimi (mm) (Annual water requirement)	Depo kapasitesi (1000 baş için) (m ³) (Storage capacity)
1	27°C'de sistemin çalışması, 24°C kadar soğutma ve sadece soğutma suyu gereksinimi	541.6	45.1
2	27°C'de sistemin çalışması, 22°C kadar soğutma ve sadece soğutma suyu gereksinimi	685.4	57.1
3	27°C'de sistemin çalışması, T_{wb} 'ye kadar soğutma ve sadece soğutma suyu gereksinimi (*)	1060.7	88.3
4	27°C'de sistemin çalışması, T_{wb} 'ye kadar soğutma ve diğer tüm su gereksinimi (*)	1532.0	135.3

* İhtiyaç duyulan suyun tamamının yağmur suyundan karşılanabilmesi için çatı alanı dışında ek su toplama alanına ihtiyaç vardır.

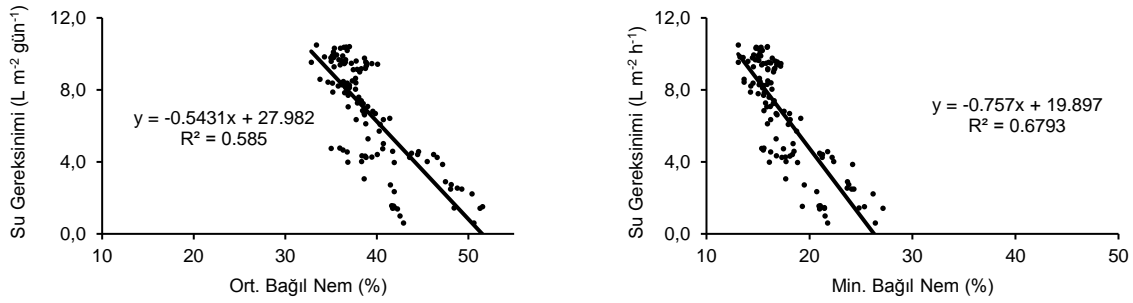
Bölgede ortalama yağış verilerine göre (733.6 L m^{-2}) sadece kümes çatısından hasat edilerek depolanacak su miktarı zaten bellidir. Ancak kümes çatısı dışında da su hasadı yapılabilir. Bu nedenle farklı serinletme senaryolarına göre de hesaplamalar yapılmıştır. Büyük işletmeler için ihtiyaç duyulacak suyun tamamının depolanması için bir depo inşa etmek oldukça yüksek maliyetler getirebilir. Örneğin 30,000 baş etlik piliç kümesi için ikinci senaryo için yaklaşık 1650 m^3 lük bir depo hacmine ihtiyaç duyulacaktır. Bu deponun yüksekliğinin 3 m olması durumunda, taban alanı 550 m^2 olacaktır. Bu depo yapısı maliyet açısından değerlendirildiğinde işletmeler için rantabl olmayabilir. Araştırmacılar büyük işletmeler için su depolama amacıyla sabit yapılar yerine arazi üzerinde açılacak çukurların zeminin su geçirmez brandalarla izole edildiği, sızdırmaz, üzeri açık depolama çözümleri önermektedirler (Von Zabeltitz, 2011). Bu

durumda sıcak yaz aylarında buharlaşma kayıplarının da dikkate alınması gerekecektir.

Su gereksinimi ile sıcaklık ve bağıl nem arasındaki ilişkiler

Su gereksiniminin sıcaklık, bağıl nem ve güneş ışınımı ile arasında psikrometrik hesaplamalardan da bilindiği gibi bir ilişki vardır. Mevcut veri seti ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması, hesaplamaların doğruluğunun test edilmesi ve bölgesel olarak görülen bazı ekstrem durumlar için (yüksek sıcaklık, düşük bağıl nem) ilişkilerin belirlenmesi amacıyla su gereksinimi ve meteorolojik veriler arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır.

Şekil 5'de evaporatif serinletme su gereksinimi ve bağıl nem arasındaki ilişkiler verilmiştir.



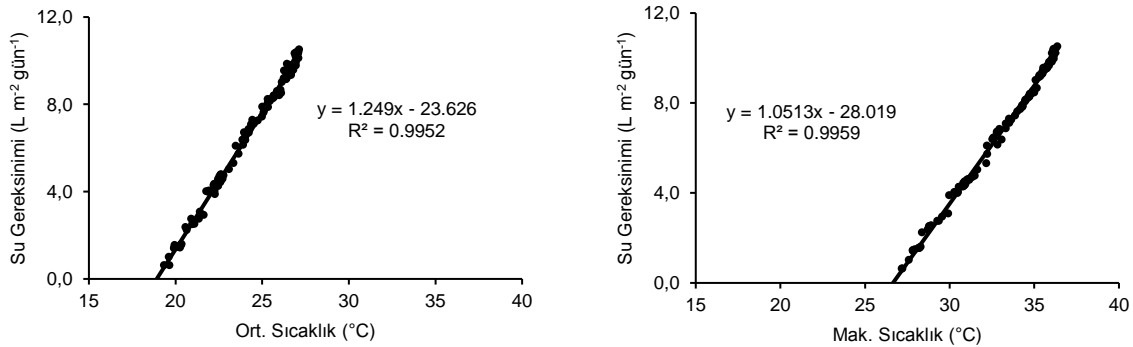
Şekil 5. Evaporatif serinletme su gereksinimi ve bağıl nem arasındaki ilişkiler

Figure 5. The relationships between evaporative cooling water requirement and relative humidity

Şekil 5'de verilen bağıl nem ve su gereksinimi ilişkileri incelendiğinde, ortalama ve minimum bağıl nem ile su tüketimi arasında önemli ve yüksek derecede negatif yönlü korelasyon olduğu görülüyor ($P < 0.01$). Korelasyon katsayısı ortalama ve minimum bağıl nem için sırasıyla -0.765 ve -0.824 olarak bulunmuştur. Minimum bağıl nem ile su gereksinimi arasında daha güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Havadaki nemin düşük olması, yani buhar basıncı açığının yüksek

olması durumunda daha fazla su buharlaşabilecek ve daha fazla su tüketimi olacaktır. Yüksek sıcaklıkların görüldüğü saatlerde bağıl nem minimum düzeyde olduğundan daha yüksek su gereksinimi olması doğaldır.

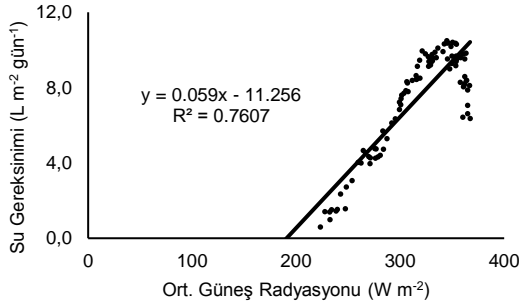
Şekil 6'da sistemin aktif olduğu saatlerdeki ortalama ve maksimum sıcaklıkların günlük ortalamaları ve su gereksinimi arasındaki ilişkiler verilmiştir.



Şekil 6. Evaporatif serinletme su gereksinimi ve sıcaklık arasındaki ilişkiler

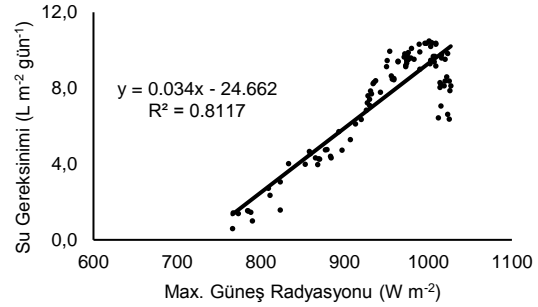
Figure 6. The relationships between evaporative cooling water requirement and temperature

Şekil 6 incelendiğinde su gereksinimi ile sıcaklıklar arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Sıcaklıkların artışı ile su gereksinimi aynı oranda artmaktadır. Psikrometrik diyagram üzerindeki serinletme işleminde de havanın entalpisi değişmeden sıcaklığın düşürülmesi durumunda havaya belli bir miktar su buharı eklenmesi gerektiği bilinmektedir. Dolayısıyla sıcaklık yükseldikçe eklenecek su



miktarının da aynı oranda yükselmesi gerekir. Yapılan hesaplamalara göre oluşturulan grafiklerin bu durumla uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 7'de sistemin aktif olduğu saatlerdeki ortalama ve maksimum güneş ışınımı günlük ortalamaları ve su gereksinimi arasındaki ilişkiler verilmiştir.



Şekil 7. Evaporatif serinletme su gereksinimi ve güneş ışınımı arasındaki ilişki

Figure 7. The relationships between evaporative cooling water requirement and solar radiation

Şekil 7 incelendiğinde güneş ışınımının yükselmesi ile su gereksinimi doğru oranda artmıştır. Ortalama ve maksimum güneş ışınımı ile su gereksinimi arasındaki korelasyonlar önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Maksimum güneş ışınım değerleri ile su gereksinimi arasındaki korelasyon katsayısı (0.508), ortalama güneş ışınım değerinden (0.371) biraz daha yüksek bulunmuştur.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Etlik piliç kümeslerinde evaporatif serinletme sistemi başta olmak üzere içme ve temizlik amacıyla ihtiyaç duyulan su, iklim koşullarına ve serinletme sisteminin etkinliğine göre değişmekle birlikte oldukça yüksektir. Bu çalışmada Kahramanmaraş iklim koşulları için kümeslerde ihtiyaç duyulan su miktarı hesaplanmış ve bunun yağmur suyu hasadı ile karşılanabilme olanağı araştırılmıştır. Bulgular yağmur suyunun depolanması ile büyük oranda ihtiyacın karşılanabileceğini göstermesine rağmen, bu amaçla ihtiyaç duyulan depo kapasitesinin büyük olmasından dolayı işletmeler için yüksek maliyetlere neden olabilir. YSH ile ihtiyaç duyulan suyun karşılanması, suyun kıt olduğu bölgelerde ve mevcut su kaynaklarına destek olarak tercih edilebilir. Ayrıca yağmur suyunun düşük mineral madde içermesi, selüloz bazlı pedlerde oluşacak kireç birikimi ve bundan kaynaklı tıkanıklıkları önlenmesi açısından faydalı olabilir. Ancak içme suyu olarak da kullanılması durumunda mineral madde ilavesi gerekebilir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Abbasi T, Abbasi S 2011. Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. *Critical Reviews in Environmental Science* 41(23):2097-2167. doi: 10.1080/10643389.2010.497438.
- Ahmad T, Sarwar M 2005. Influence of varying sources of dietary electrolytes on the performance of broilers reared in a high temperature environment. *Animal feed science and technology* 120(3-4):277-298.
- Alleman F, Leclercq B 1997. Effect of dietary protein and environmental temperature on growth performance and water consumption of male broiler chickens.
- ASHRAE 2013. *Fundamentals, Ashrae Handbook, Chapter 1: Psychrometrics*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA. 16s.
- Atilgan A, Mutlu A 2000. Adana'daki etlik piliç kümeslerinde yazın oluşan sorunlar ve alınması gereken önlemler. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 15 (3):87-94.
- Atilgan A, Yucel A, Oz H 2012. Determination of heating and cooling day data for broiler housing: Isparta case. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.10 (3&4):353-356.
- Aviagen 2019. Ross 308 broiler performance objectives. Aviagen Group, Huntsville, AL 35806, USA. 16s.
- Barton TL 1996. Relevance of water quality to broiler and turkey performance. *Poultry Science* 75(7):854-

- 856.
- Baytorun AN, Makaay AMA 2019. Farklı İklim Bölgelerindeki Seralarda Evaporatif Soğutma Olanaklarının Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 34(4):29-38.
- Belay T, Teeter RG 1993. Broiler Water Balance and Thermobalance During Thermoneutral and High Ambient Temperature Exposure. Poultry Science 72(1):116-124. doi:10.3382/ps.0720116.
- Bolton D 1980. The computation of equivalent potential temperature. Monthly weather review 108(7):1046-1053.
- Chiu Y-R, Liaw C-H, Chen L-C 2009. Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities. Renewable Energy 34(3):492-498. doi:10.1016/j.renene.2008.06.016.
- Donald J 2000. Getting the most from evaporative cooling systems in tunnel ventilated broiler houses. World Poultry 16(3):34-39.
- Dos Anjos NDFR 1998. Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean. International Journal of Water Resources Development 14(3):365-398. doi: 10.1080/07900629849277.
- Drastig K, Palhares JCP, Karbach K, Prochnow A 2016. Farm water productivity in broiler production: case studies in Brazil. J Clean Prod 135:9-19. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.052.
- Feddes J, Emmanuel E, Zuidhoft M 2002. Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities. Poultry Science 81(6):774-779. doi:10.1093/ps/81.6.774.
- Grizzle J, Armbrust T, Bryan M, Saxton A 1996. Water Quality I: The Effect of Water Nitrate and pH on Broiler Growth Performance. Journal of Applied Poultry Research 5(4):330-336. doi:10.1093/japr/5.4.330.
- Grizzle JM, Armbrust TA, Bryan MA, Saxton AM 1997. Water Quality II: The Effect of Water Nitrate and Bacteria on Broiler Growth Performance. Journal of Applied Poultry Research 6(1):48-55. doi:10.1093/japr/6.1.48.
- Helmreich B, Horn H 2009. Opportunities in rainwater harvesting. Desalination 248(1):118-124. doi:10.1016/j.desal.2008.05.046.
- Jafari RA, Fazlara A, Govahi M 2006. An investigation into Salmonella and fecal coliform contamination of drinking water in broiler farms in Iran. International Journal of Poultry Science 5(5):491-493.
- Köknaroglu H, Atilgan A 2007. Effect of Season on Broiler Performance and Sustainability of Broiler Production. Journal of Sustainable Agriculture 31(2):113-124
- Laknizi A, Mahdaoui M, Abdellah AB, Anoune K, Bakhouya M, Ezbakhe H 2019. Performance analysis and optimal parameters of a direct evaporative pad cooling system under the climate conditions of Morocco. Case Studies in Thermal Engineering 13:100362.
- Leeson S, Summers JD 2005. Commercial Poultry Nutrition, Third Edition. Vol. 1. Department of Animal and Poultry Science University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. Nottingham University Press, Nottingham, England. 413s.
- Lindley JA, Whitaker JH 1996. Agricultural buildings and structures. Vol. 1. American Society of Agricultural Engineers (ASAE).
- Manning L, Chadd SA, Baines RN 2007. Water consumption in broiler chicken: a welfare indicator. World's Poultry Science Journal 63(1):63-71.
- May JD, Lott BD, Simmons JD 2000. The effect of air velocity on broiler performance and feed and water consumption. Poultry Science 79(10):1396-1400.
- Meera V, Ahammed MM 2006. Water quality of rooftop rainwater harvesting systems: a review. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua 55(4):257-268. doi:10.2166/aqua.2006.0010.
- MGM 2020a. İklim Sınıflandırması Kahramanmaraş. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MGM 2020b. Resmi İstatistikler-İllere Ait Mevsim Normalleri (1930-2018). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Mun JS, Han MY 2012. Design and operational parameters of a rooftop rainwater harvesting system: Definition, sensitivity and verification. Journal of Environmental Management 93(1):147-153. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.08.024.
- Pesti GM, Amato SV, Minear LR 1985. Water consumption of broiler chickens under commercial conditions. Poultry science 64(5):803-808.
- Sánchez AS, Cohim E, Kalid RA 2015. A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas. Sustainability of Water Quality and Ecology 6:119-137. doi: 10.1016/j.swaqe.2015.04.002.
- Singleton R 2004. Hot weather broiler and breeder management. Asian poultry magazine:26-29.
- Teeter RG, Belay T 1996. Broiler management during acute heat stress. Animal Feed Science and Technology 58(1):127-142. doi: 10.1016/0377-8401(95)00879-9.
- Uğurlu N, Kara M 2000. Islak ped sistemiyle serinletmenin performans verileri ve kafes sistem kümes iç sıcaklığının düşürülmesine etkisi. Türk J Agric For 24(2000):79-86s.
- Viola ES, Vieira SL, Torres CA, Freitas DMd, Berres J 2008. Desempenho de frangos de corte sob suplementação com ácidos láctico, fórmico, acético e fosfórico no alimento ou na água. Brazilian journal of animal science 37(2):296-302.
- Von Zabertitz C 1986. Gewachshäuser - Handbuch des Erwerbsgartners. Handbuch des Erwerbsgartners.

- Ulmer -Verlag, Stuttgart.
- Von Zabeltitz C 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates: Climate Conditions, Design, Construction, Maintenance, Climate Control, Berlin, Springer, 285-311. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates: Climate Conditions, Design, Construction, Maintenance, Climate Control.
- Vömel H 2016. Saturation vapor pressure formulations. <http://cires1.colorado.edu/~voemel/vp.html>. (Alınma Tarihi: 10.09.2020).
- Younes SA-M 2016. Modeling investigation of wet tropospheric delay error and precipitable water vapor content in Egypt. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science 19(2):333-342. doi: 10.1016/j.ejrs.2016.05.002.