



Hydropsyche instabilis Curtis 1834 (Trichoptera: Hydropsychidae) Larvalarının Ağ Örne Davranışlarının ve İpek Ağ Yapılarının İncelenmesi

Esmanur AKYILDIZ¹, İbrahim KÜÇÜKBASMACI^{2*}

¹ Kastamonu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kastamonu/Türkiye

² Kastamonu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kastamonu/Türkiye

*E-mail: ikucukbasmaci@kastamonu.edu.tr

Makale Bilgisi:

Geliş:

09/08/2024

Kabul Ediliş:

13/08/2024

Anahtar Kelimeler:

- Trichoptera
- *Hydropsyche instabilis*
- İpek Ağ
- Larva

Öz

İpek, eklem bacaklılar tarafından üretilen protein karakterinde vücut dışı yapısal materyallerdir. İpek üreten canlılar ipeği koruyucu barınaklar oluşturma, yapısal destek, üreme, yiyecek arama, yiyecek yakalama veya dağılımları gibi çeşitli işlevler için kullanır. Trichoptera larvalarının ipekten yaptıkları ağ, sığınak, kılıf ve pupa yapıları böcekler tarafından inşa edilen en karmaşık yapılar arasındadır. Bu canlılar yakalama ağlarına bitişik, içine çekilebildikleri sabit barınaklardan, taşınabilir tüp şeklinde evciklere ve sabit pupa odacıklarına kadar çeşitli su altı kompozit yapıları inşa etmek için yapışkan ipekler kullanırlar. Salgıladıkları yapışkan su altında hem organik hem de inorganik çok çeşitli yüzeylere bağlanabilmektedir. Bu amaçla trichopterlerden ipek ağ elde etmek ve yapısını anlayabilmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, 130 *Hydropsyche instabilis* Curtis 1834 (Trichoptera: Hydropsychidae) larvası laboratuvarında yetiştirilmiş, ipek ağ örme davranışları ve ipek ağ yapıları incelenmiştir. Bu amaçla bir larva yetiştirme düzeneği tasarlanmış ve larvaların ipek ağ örme davranışları takip edilmiştir. Larvalar tarafından örülen ağların yapısı ve kullanım amaçları ortaya konmuştur. Çalışmamız Trichoptera larvalarının laboratuvar ortamında yetiştirilmesinin ve organizmaları öldürmeden ipek ağlarının toplanmasının mümkün olduğunu göstermektedir.

Investigation of Web-Weaving Behavior and Silk Web Structures of *Hydropsyche Instabilis* Curtis 1834 (Trichoptera: Hydropsychidae) Larvae

Article Info

Received:

09/08/2024

Accepted:

13/08/2024

Keywords:

- Trichoptera
- *Hydropsyche instabilis*
- Silk network
- Larva

Abstract

Silk is an extracorporeal structural material with a protein character produced by arthropods. Creatures that produce silk use silk for various functions, including creating protective shelters, structural support, reproduction, foraging, food capture, or dispersal. The web, shelter, sheath and pupa structures that Trichoptera larvae make from silk are among the most complex structures built by insects. These creatures use sticky silks to build various underwater composite structures, from fixed shelters adjacent catching nets into which they can retreat to portable tube-like chambers and fixed pupal chambers. The adhesive they secrete can bind to a wide variety of organic and inorganic surfaces under water. For this purpose, various studies have been conducted to obtain silk webs from trichopters and understand their structure. In this study, 130 *Hydropsyche instabilis* Curtis 1834 (Trichoptera: Hydropsychidae) larvae were reared in the laboratory, and their silk web weaving behaviour and structures were examined. For this purpose, a larva-rearing mechanism was designed, and the silk web-weaving behaviour of the larvae was monitored. The structure and intended use of the silkweb woven by the larvae have been revealed. Our study shows that raising Trichoptera larvae in the laboratory and collecting silk webs without killing the organisms is possible.

Atıf bilgisi / Cite as: Akyıldız, E. & Küçükbasmacı, İ. (2024). *Hydropsyche instabilis* Curtis 1834 (Trichoptera: Hydropsychidae) Larvalarının Ağ Örne Davranışlarının ve İpek Ağ Yapılarının İncelenmesi. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 10 (2), 121-130. <https://doi.org/10.58626/menba.1530718>

GİRİŞ

İpek, eklembacaklılar tarafından üretilen protein karakterinde vücut dışı yapısal materyallerdir. İpekböcekçiliği denince akla ilk gelen *Bombix mori* güvesi, ipek üreticileri denince ise ipek böceği ve örümcekler olsa da bunların dışında Insecta, Arachnida ve Myriapoda sınıflarında bulunan birçok hayvanın da ipek ürettiği bilinmektedir (Craig, 1997; Herold ve Scheibel, 2017). İpek üreten canlılar ipeği koruyucu barınaklar oluşturma, yapısal destek, üreme, yiyecek arama, yiyecek yakalama veya dağılımları gibi çeşitli işlevler için kullanır (Craig, 1997; Herold ve Scheibel, 2017; Tsukada vd., 2010). Örneğin trichoptera larvaları, su altında avlanmak için kurduğu ağları ipek ipliklerle yaparlar (Herold ve Scheibel, 2017). *Hydropsyche* sp. (Hydropsychidae) türleri yiyecek yakalamak için akarsu tabanındaki tortu parçacıkları arasındaki ara boşluklar boyunca ipek ipliklerden oluşan ağlar kurarak bentik habitatta yaşarlar (Albertson vd., 2014).

Sucul böcekler arasında Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera ve Megaloptera takımlarına ait larva veya nimflerin neredeyse tamamı suda yaşar ve yarısından fazlası Trichoptera olmak üzere 27 000'den fazla bilinen sucul böcek türünü oluşturur (Dijkstra vd., 2014; Frandsen vd., 2019). Bunlardan sadece Trichoptera takımına ait larvalar labial ipek bezlerinden ipek üretir (Sehnal ve Sutherland, 2008). Trichoptera larvalarının sucul ortamlarda bu denli başarılı olmalarına katkıda bulunan en önemli özellikleri, farklı nişleri işgal etmelerine imkân veren çeşitli yapılar inşa etmek için yapışkan su altı ipeğini kullanmalarındır (Frandsen vd., 2019).

Trichoptera erginlerinin ağız yapıları körelmiştir ancak bitki özsuyu ve nektar gibi şekerli sıvıları sindirim sistemine çekebilen, oldukça değişmiş süngerimsi bir alt dudak vardır (Morse vd., 2019). Suda yaşayan larvalar, ipek salgıları ve kullanımları sayesinde dünya çapında tatlı su habitatlarında geniş bir şekilde dağılmıştır (Mackay ve Wiggins, 1979). Rhyacophilidae familyası üyeleri dışında hemen hemen tüm trichoptera larvaları bir evcikte veya içine çekilebildikleri bir ipek tüp içinde yaşarlar (Bouchard, 2004). Trichoptera larvalarının ipekten yaptıkları ağ, sığınak, kılıf ve pupa yapıları, en azından sosyal olmayan takımlar arasında, böcekler tarafından inşa edilen en karmaşık yapılar arasındadır. Bu canlılar yakalama ağlarına bitişik, içine çekilebildikleri sabit barınaklardan, taşınabilir tüp şeklinde evciklere ve sabit pupa odacıklarına kadar çeşitli su altı kompozit yapıları inşa etmek için yapışkan ipekler kullanmaktadırlar (Holzenthal vd., 2007). Bu su altı yapılarında kullanılan organik ve inorganik yapı malzemelerinin şekli ve çeşitliliği, su altı biyo-yapışkanı ve sert bir yapısal lif olarak trichoptera larva ipeğinin çok yönlülüğünün ve etkinliğinin bir kanıtıdır (Frandsen vd., 2019).

Sucul ipek ipliklerin kimyasal yapısı ipekböceği ve örümcek ipeklerinininkinden farklıdır (Tsukada, vd., 2010). Son çalışmalar, ipek proteinlerinin biyoteknolojik üretimi ile sabit kalitede ölçeklenebilir bir üretim yapılabildiği için rekombinant ipeklerin insan yaşamında kullanılabilirliğini göstermiştir. Doğal ipek üretimi ile ilgili bilgilerimizin hızla artması ile rekombinant ipek proteinlerini insan yapımı liflere dönüştürmek için çok sayıda teknik prosedür geliştirmek mümkün hale gelmiştir (Herold ve Scheibel, 2017). Trichoptera ipeği ıslak dokulara yapıştığı için tıbbi bir biyo-yapışkan olarak dikkat çekmiştir. Çünkü salgıladıkları yapışkan su altında hem organik hem de inorganik çok çeşitli yüzeylere bağlanabilmektedir (Tszedel vd., 2015). Trichoptera larvalarından elde edilen ipek proteininin en önemli özellikleri, endüstriyel yapıştırıcı, cerrahi yapıştırıcılar, dişçilik alanı ve su altı yapıştırıcıları dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel alanlarda yeni yararlı kullanım olarak yüksek potansiyel sergilemektedir (Tsukada vd., 2010). Bu nedenle, ürettikleri lifler, cerrahi dikişler, biyo-bandajlar, stentler veya doku iskelesi gibi tıbbi kullanım için ideal görünmektedir (Tszedel vd., 2015).

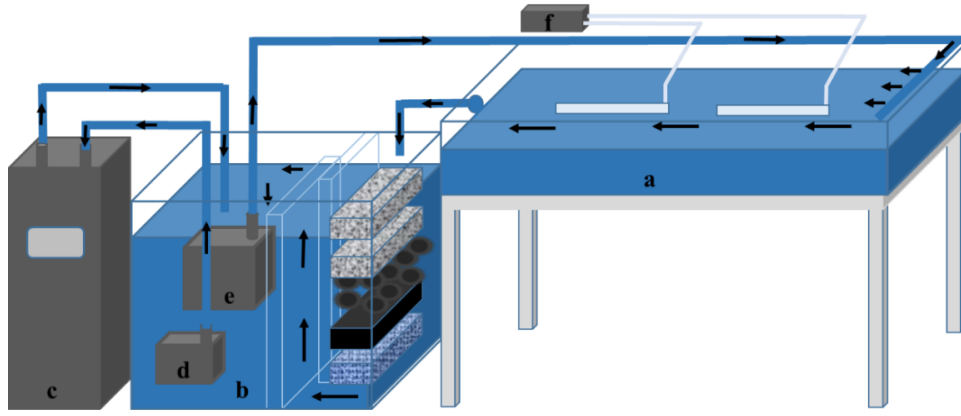
Öte yandan, trikoptera ipeğinin ve ipek bezinin fiziko-kimyasal ve ultrastrüktürel özellikleri üzerine çok sınırlı araştırma yapılmıştır (Kim vd., 2020; Tsukada vd., 2010). Bu nedenle, trichoptera larvalarının su altı ipeklerinin ayrıntılı karakterizasyonu, trichoptera ipeğinin hem biyomateryal olarak kullanım için önemli bir potansiyele sahip olup olmadığını hem de bu önemli böcek grubunun doğadaki başarısının açıklanmasına katkı sağlamıştır.

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında yetiştirilen ağ-eğiren Trichoptera türlerinden biri olan *Hydropsyche instabilis* Curtis 1834 larvalarının (Trichoptera: Hydropsychidae) ipek ağ örme davranışları ve ipek ağ yapıları incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Larva Yetiştirme Düzenine Tasarlanması ve Hazırlanması

Çalışmada kullanılan larva yetiştirme düzenine Şekil 1'de görüldüğü gibi akarsudaki abiyotik şartların (akış, çözünmüş oksijen, sıcaklık vb.) modelleneceği bir sistem olarak düzenlenmiştir. Ana tankta (Şekil 1a) borular vasıtası ile akış verilen su, tahliye borusu ile sump sistemine (Şekil 1b) dökülerek filtre bölümünden geçtikten sonra soğutucuya (Şekil 1c) soğutucu su pompası (Şekil 1d) ile gönderilmiştir. Soğutucuda $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 'de soğutulmuş su sump sistemine geri dönen su ana tank su pompası (Şekil 1e) ile ana tanka gönderilmektedir. Ana tanktaki su hava pompası (Şekil 1f) ile 2 noktadan havalandırılmıştır. Sistem suyunun temizlenmesi için sump sisteminin temizleme gözüne, sırasıyla kalın gözenekli filtre süngeri, biyolojik toprak (biyoball), aktif karbon, ince gözenekli filtre süngeri yerleştirilmiştir. Larvalar araziden toplanmadan önce sistem hazırlanarak bir gün boyunca şebeke suyu ile çalıştırılmıştır. Bu sayede şebeke suyunun içerdiği klor giderilmiştir.



Şekil 1: Larva yetiştirme düzeneği şeması. a. ana tank, b. sump sistemi, c. soğutucu, d. hava motoru, e. soğutucu su motoru, f. ana tank su motoru, oklar, su akış yönü (İ.K. tarafından oluşturulmuştur)

Larvaların toplandığı akarsudan getirilen dere suyu 1:1 oranında sisteme eklenmiştir. Her gün sump sistemindeki su seviyesi kontrol edilerek eksilen su ağız açık şekilde dinlendirilmiş şebeke suyu ile tamamlanmıştır. Her 7 günde bir ana haznedeki suyun 1:2'si dinlendirilmiş su ile değiştirilmiştir. İki haftada bir sump sistem temizlenmiş, aynı zamanda yetiştirme haznesinde biriken atıklar sistemden çıkarılmıştır.

Larvaların ana tanka yerleştirilmesi için 20X20X4 ebatlarında, içinde 10 kanal bulunan seramik kanallı kutular kullanılmıştır. Seramik kanallı kutular boş (Şekil 2a) ve seramik silindir boncuklu (Şekil 2b) olmak üzere iki farklı şekilde hazırlanmıştır.

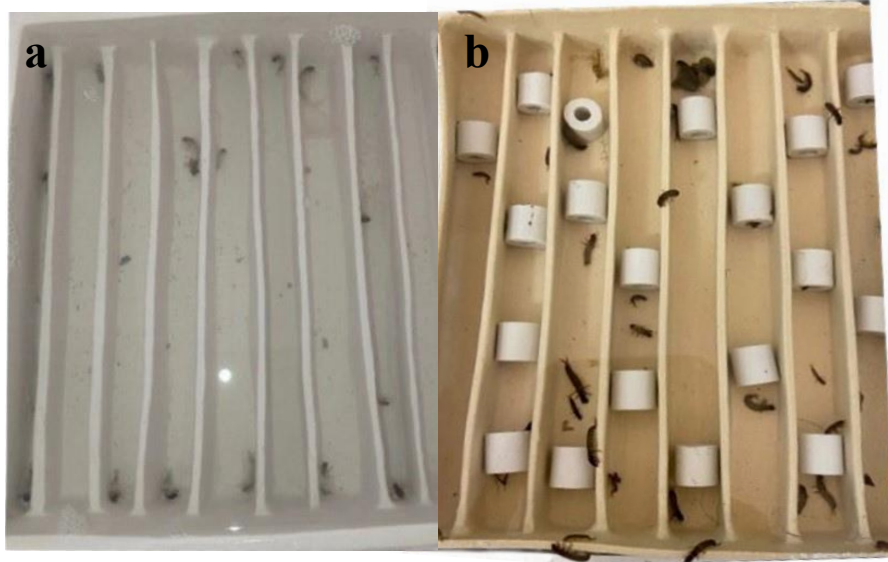


Şekil 2: Seramik kanallı kutular a. Seramik kanallı kutu b. Seramik silindir boncuklar bulunan seramik kanallı kutu (E.A. tarafından çekilmiştir)

Larvaların toplanması ve yetiştirme düzeneğine yerleştirilmesi

Bentik makroorganizmaların örnekleri Kastamonu, Küre, Ersizlerdere Köyü, Karacehennemboğazi Çayından, 500 µm göz açıklığına sahip, D-çerçevesi dip ağı ile "kick net" metodu kullanılarak toplanmıştır. Örnekleme, olası tüm mikrohabitatları içerecek şekilde 100 m²'lik bir alanda, tabana yerleştirilen D-çerçeve ağının önündeki taşların mansaptan membaya doğru tekmelenmesiyle yapılmıştır. Ağda biriken bentik materyal su dolu beyaz bir plastik tepsiye (60x30 cm) aktarılarak kullanılmayan nesnelere (yaprak, tohum, taş vb.) kabaca temizlenmiştir. Kalan materyaller 500 µm göz açıklığına sahip elekten yıkandıktan sonra bir miktar dip döküntüsü ve onun üzerine geçmeyecek kadar dere suyu içinde laboratuvara taşınmak üzere plastik kaba (20x10 cm) konulmuştur. Ayrıca akarsu içindeki taş altları incelenmiş, taşta tutunmuş *Hydropsyche* sp. larvaları el ve pens ile toplanmıştır. Laboratuvarda *Hydropsyche* sp. larvaları hızla diğer bentik makroorganizmalardan ve materyallerden ayrılmış ve ana tank içinde hazırlanan seramik kanallı kutular içine yerleştirilmiştir.

Ana tank içinde hazırlanan 4 adet seramik kanallı kutunun her birine 30 larva (Şekil 3a) ve içinde seramik silindir boncuk bulunan 1 adet seramik kanallı kutuya da 20 larva (Şekil 3b) yerleştirilmiştir. Seramik kanallı kutulardan bir tanesine pupa davranışını gözlemek için kum ve küçük taşlar eklenmiştir.



Şekil 3: Seramik kanallı kutulara örneklerin yerleştirilmesi a. Boş seramik kanallı kutudaki örnekler b. Seramik silindir boncuklar bulunan seramik kanallı kutudaki örnekler (E.A. tarafından çekilmiştir)

Örnekler günlük olarak takip edilmiştir. Larvalar üç günde bir Artakua marka balık yemiyle beslenmiş ve yemlerin bozularak su ortamını kirletmemesi için larvalar tarafından tüketilmeyen yemler ertesi gün toplanmıştır.

Örneklerin teşhisi

Yetiştirme düzeneğine konulan larvaların bir günlük inkübasyonundan sonra 7 hareketsiz, 3 de hareketli olmak üzere toplam on larva teşhis için içinde %96'lık etil alkol bulunan tüplere alınmıştır. Zamora-Munoz vd., (1995, 2017)'e göre larvaların teşhisi yapılmıştır. Takip edilen larvalardan 4. haftada erginleşen 1 erkek birey teşhis için içinde %96'lık etil alkol bulunan tüpe alınmıştır. Ergin bireyin teşhisi erkek genitali çıkarılarak Malicky (2004)'e göre yapılmıştır.

İpek ağların görüntülemeye hazırlanması

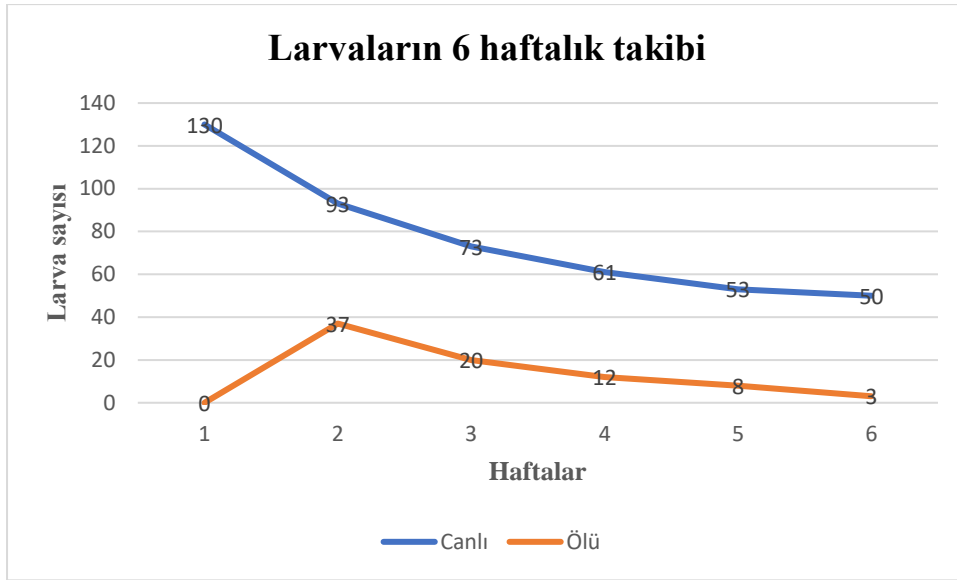
Larvalar tarafından örülen ağlar, öncelikle örüldüğü bölgelerde fotoğraflanmıştır. Ağ örmeyi tamamlayıp ağ içine çekilen larvaların ağ örmeyi bitirdiği varsayılmış ve larvalar ağdan uzaklaştırılarak başka kaba aktarılmıştır. Ağların toplanması iki şekilde yapılmıştır. Birincisi seramik kanallı kutu ve seramik silindir boncuk bulunan kutu larvalar uzaklaştırıldıktan sonra yetiştirme düzeneğinden çıkarılıp oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmıştır. 48 saat sonunda kurumuş olan ağlar ince uçlu pens ile dikkatli bir şekilde seramik kanallar arasından ve seramik silindir boncuklar içinden toplanarak plastik tüpler içine konulmuştur. Temizlik için ipek ağlar birkaç kez distile su ile yıkanmış ve oda sıcaklığında seri alkol çözeltilerinin (%50, %70 ve %100) her birinde 2 saat boyunca tutularak dehidre edilmiştir. Temizlik işleminden sonra ağlar oda sıcaklığında 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Temizlenen ağların fotoğrafları Leica S8APO (Almanya) stereomikroskopta çekilmiştir. İkinci ağ toplama şeklinde ise ağlar ıslak olarak buldukları yerden ince uçlu pens ile dikkatlice çıkarılıp lam üzerine serilmiş ve bu şekilde stereomikroskop ile fotoğraflanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 140 *Hydropsyche* sp. larvası laboratuvarında yetiştirme düzeneğine yerleştirilmiş bunlardan 130 larvanın takibi yapılmış ve ipek ağ örme davranışları ile ağ yapıları incelenmiştir. Larva ve ergin teşhisleri sonucunda örneklerin *Hydropsyche instabilis* Curtis 1834 (Trichoptera: Hydropsychidae) olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada akarsuyu modellemek için ana tanktan sump sistemine doğru akıntı verilmiştir. Örnekler yetiştirme tankında bulunan seramik kanallı kutulara ilk yerleştirildiğinde bir kısmının kanallar arasına yerleştiği, bir kısmının ise taban kısmına inemeyerek suyun üst kısmına çıkıp, akıntı ile seramik kanallı kutuların dışına çıktığı ve yeni alanlara doğru gittikleri belirlenmiştir. En hızlı ve başarılı larva yerleşiminin seramik silindir boncukların içinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. İçinden su akışı geçecek şekilde yerleştirilen silindir boncukların iç kenarlarına tutunan larvalar buraya kolaylıkla yerleşerek ağ örmeye başlamışlardır. Diğer alanlarda ise ilk ağlarını örmeye başlayana kadar larvaların zaman zaman su akışına kapıldığı ve buldukları alanlardan ayrıldıkları gözlenmiştir. Bir yere yerleşen larvaların yedinci gün itibariyle ağlarını tamamladıkları tespit edilmiştir.

Seramik kanallı kutularda takipleri yapılan örneklerin, canlı ve ölü örnek sayıları günlük olarak kaydedilmiştir. Şekil 4'te 6 hafta boyunca takip edilen larvaların yaşama durumları verilmiştir.

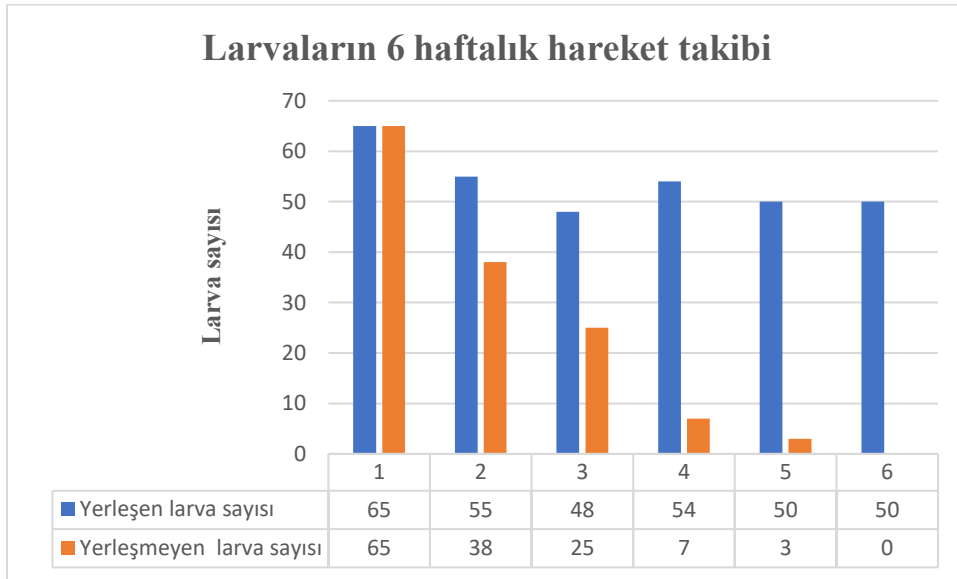


Şekil 4: Canlı ve ölü larvaların haftalık takibi

Haftalık yapılan takiplerde 2. haftada 37 larvanın ve 3. haftada 20 larvanın öldüğü tespit edilmiştir. 6. haftada larvaların ölüm hızı azalmıştır. Albertson vd. (2014) *Hydropsyche* sp. (Hydropsychidae) türlerinin, yiyecek yakalamak için tortu parçacıkları arasındaki ara boşluklar boyunca ipek ipliklerden oluşan ağlar kurdukları bentik habitatta yaşadığını belirtmiştir. Yetiştirme düzeneğinde kendine bir bölge bulan ve yerleşen örnekler beslenme ve içine çekilme ağlarını örerek hayatta kalma başarılarını artırmışlardır. Hareket etmeyip bir yere yerleşen örnek sayısı özellikle 5. ve 6. hafta itibariyle maksimuma ulaşmıştır (Şekil 5).

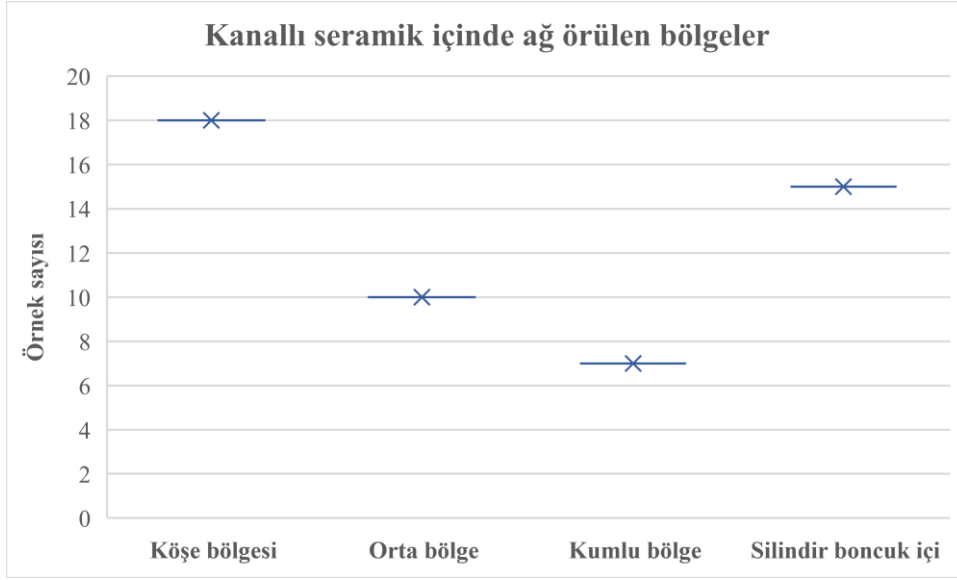
Bu çalışmanın öncesinde 110 larva ile başlanılan ön çalışmamızda, 2. haftada 70 larvanın öldüğü tespit edilmiştir. 3. ve 4. haftalarda da larva ölümleri devam etmiş ve 6. haftada çalışma yaşayan larva kalmadığı için sonlandırılmıştır. Bu çalışmada ise takip edilen 130 larvanın 2. haftada 37'si ölmüştür. 3. haftadan itibaren ölüm oranları azalmış ve 6. haftada ölüm neredeyse durmuştur. Yapılan ön çalışmada yetiştirme başarısının düşük olması larvaların oda sıcaklığında, yaklaşık 20-22°C sıcaklıktaki suda yetiştirilmeye çalışılmasına bağlanabilir. Bu çalışmada ise soğutucu (chiller) kullanılarak su sıcaklığının 10-12°C'de sabit tutulması yetiştirme başarısını artırmıştır. Çalışmamız sıcaklık parametresinin örneklerin adaptasyon süreçleri ve yaşam oranları üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

Asthan (2012) çalışmasında larvalara günlük olarak yem verildiğini belirtmektedir. Yaptığımız çalışmada ise üç günde bir yem verilmiştir. Yetiştirme ortamında biriken fazla yemin ipek ağlarla yakalanamadığı ve larvalar tarafından tüketilmediği zaman bozulduğu görülmüştür. Fazla yemin suyun kirlenmesine sebep olacağı düşünülerek larvaların beslenmesinin 3-5 günde bir yapılmasının uygun olacağı tespit edilmiştir.



Şekil 5: Yerleşip ağ yapan ve hareketli larvaların haftalık hareket takibi

Altıncı haftada larvaların kanallı seramik kutuların orta, kenar, taşlı bölge ve silindirik boncuk içerisine ağ örerek bu bölgelerde sabit kaldıkları gözlenmiştir. Ağ yaptıkları bölgelere göre larva sayıları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: Ağ yaptıkları bölgelere göre örnek sayıları

Larvaların özellikle su akışından etkilenmeyecekleri köşe ve rahat tutunabildikleri silindir boncuk içini tercih ettikleri gözlenmiştir.

İpek Ağların Yapısı

Trichoptera larvalarının ipek lifleri eğirme ve yapı malzemesini seçme yöntemi, larvaların yaşadığı ortama, enerji optimizasyonunun hacmine ve ayrıca vücudun yapısı ve mühendislik davranışının genetik olarak belirlenmesine bağlıdır (Statzner vd., 2005; Tszedel vd., 2015). Çalışmamızda *H. instabilis* larvalarına ait ipek ağlarının dört farklı bölgedeki kullanımı ve yapıları incelenmiştir.

Seramik kanallı kutular içerisinde ağ ören larvalar öncelikle köşe bölgeleri tercih etmişlerdir. Bu alanlarda ağlarını kutu kenarına, kanal kenarına ve kutu tabanına tutturacak şekilde ağlarını örmüşlerdir (Şekil 7). Örülen ağların belirli bir düzende olmadığı ancak larvanın saklanabileceği ve içine çekilebileceği yoğunlukta her yöne tutturulan ipliklerden oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 7: Köşe bölgede ağ ören larva (E.A. tarafından çekilmiştir)

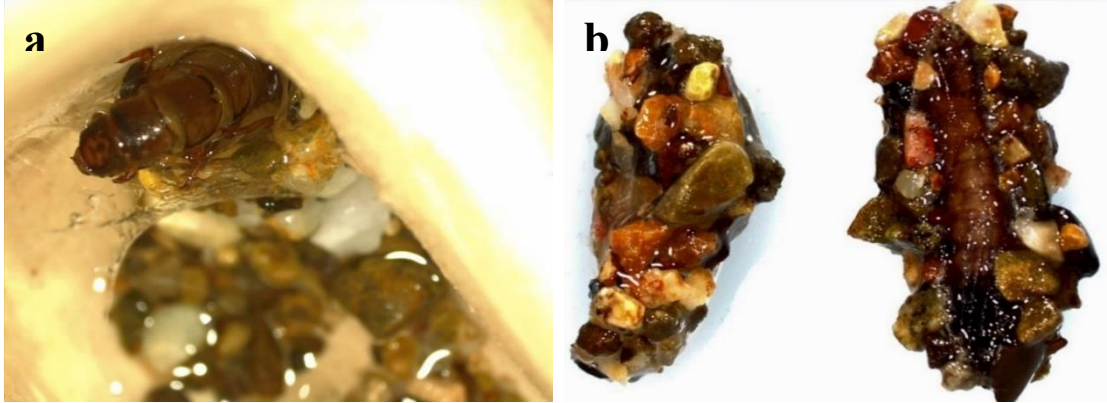
Köşe bölgelerde yer bulamayan larvaların tercih ettikleri bir diğer bölge kanalların orta kısımları olmuştur. Bu bölgede larvalar ağlarını kanal kenarına ve kutu tabanına tutturarak içine çekilebilecekleri ağlar örmüşlerdir (Şekil 8).



Şekil 8: Orta bölgede ağ ören larva (E.A. tarafından çekilmiştir)

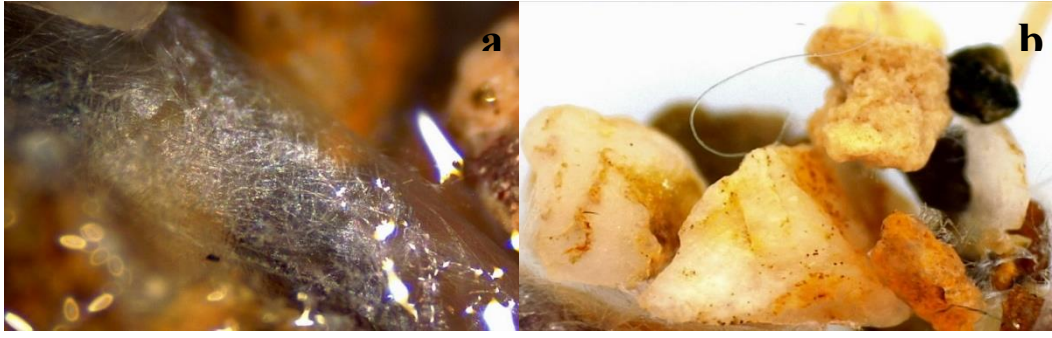
Orta bölgelerde örülen ağların diğer ağlara göre düzenli bir şekilde örüldüğü görülmektedir. Larvanın kanalın yan duvarlarına tutturduğu iplikleri düzgün bir şekilde örerek üst kısmını kaplayacak bir ağ oluşturduğu gözlenmiştir.

Bazı larvaların kanallı seramik kutular içine konulan kum ve küçük taşları salgıladıkları ipek iplikle yapıştırarak pupa odası oluşturduğu tespit edilmiştir. Larva önce ipek ağını örerek bir yaşam alanı oluşturduktan sonra (Şekil 9a) etrafındaki kum ve taşları kullanarak pupa odasını yapmıştır (Şekil 9b).



Şekil 9: Pupa odası oluşumu ve pupa odası. a. Pupa odası için taşları birleştiren larva b. Pupa odasının dorsal ve ventral görünümü (E.A. tarafından çekilmiştir)

Koza, larva-pupa metamorfozu sırasında bir larvayı çevreleyen, sıkıca ve yoğun bir şekilde dokunmuş silindirik bir üründür (Tszydel vd., 2015). *H. instabilis* larvalarının taşları birleştirmek için ve kozalarını örmek için ipek ipliklerini kullandıkları belirlenmiştir. Kozanın dokusu oldukça sıkı dokunmuştur. Dokuma şeklinde ipliklerin düzensiz ancak birden fazla kat olacak şekilde örüldüğü görülmüştür (Şekil 10a). Taşları birleştirmek için kullanılan ipliklerin ise orta kısımlarda yoğun ve kalın taş yüzeylerine yapışan kısımlarda ise dallanmış ve ince olduğu gözlenmiştir (Şekil 10b).



Şekil 10: H. instabilis pupa kılıfında kullanılan ipek iplik yapısı a. Koza dokusu b. Pupa odasını çevreleyen taşların arasındaki ipek iplikler (E.A. tarafından çekilmiştir)

Larvaların ağ ördükleri bir diğer bölge seramik silindir boncukların içi olmuştur (Şekil 11). Larva silindirin içine ağlarını her yöne tutturarak düzenli ağlar örmüştür.

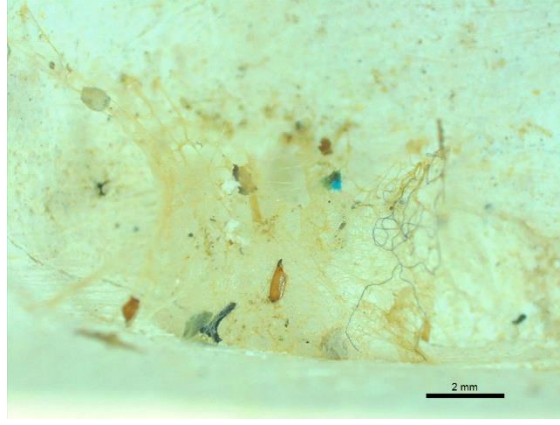


Şekil 11: Seramik silindir boncuk içerisindeki ağ görünümü (E.A. tarafından çekilmiştir)

Seramik silindir boncuk içerisine yerleşerek ağ ören larvaların ağlarını silindirin içini ikiye bölecek şekilde boyuna ördükleri ve ağların larvanın silindir boncuk içerisine girip çıkabildiği odacıklı bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Trichoptera ipek lifinin yapısı, salgılanan ipeğin su altında yapışmasına katkıda bulunur. Diğer sucul türler genellikle doğrudan temas halinde oldukları veya hızlıca temas edecekleri yapıştırılacak malzemeye sıvı yapıştırıcılarının bir kısmını uygularken, trichoptera larvaları yapıştırıcılarını yapıştırılacak maddeler arasındaki önemli boşlukları kapatabilen bant gibi bir elyaf desteğiyle uygular. Bu bant tasarımı yüzey temas alanını en üst düzeye çıkarır ve alt fibriller arasındaki yanıl bağlantılar uzunlamasına bağlantılardan daha zayıftır. Bu özellik eliptik liflerin yüzeyde düzleşmesi için esneklik sağlar (Ashton vd., 2011). Seramik silindir boncuk içine ağ ören örneklerin ağlarını dar ve etrafını saran silindir iç yüzeyine daha iyi yapıştırdığı için güçlü ağlar yaptığı gözlenmiştir. Seramik kanallı kutulara konulan örneklerin ise kanallar arasına daha ince, esnek ve düzenli ağ gözenekleri olan ağlar ördüğü tespit edilmiştir. Bunun nedeninin daha az yüzey alanını kullanmak zorunda kalmasından dolayı olduğu düşünülmüştür.

Ağlar incelenmek amacıyla materyal ve metot bölümünde anlatıldığı gibi ıslak ve kuru toplama olmak üzere iki yöntemle toplanmıştır. İnce uçlu pens ile ıslak ağların toplanması sırasında ağ şeklinin bozulduğu ve ağın jel gibi bir araya toplandığı saptanmıştır. Kuru toplama yönteminde ise ağ bütünlüğünün bozulmadan ağların toplanabildiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla çalışmamızda ağ örneklerinin havada kurutma işleminden sonra ince uçlu pens yardımıyla daha rahat toplanabildiği belirlenmiştir.

Hasat edilen ağ örnekleri incelendiğinde ortamda bulunan ve akışla hareket eden organik ve inorganik materyallerin ağlar tarafından tutulduğu saptanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12: Ağa takılmış organik ve inorganik materyaller (E.A. tarafından çekilmiştir)

Çalışmamız *H. instabilis* larvalarının beslenme ve içine çekilme ağlarının suyun filtrasyonunda da etkili olduğunu göstermiştir. Öyle ki şekil 8’de görüldüğü gibi ağda organik materyallerin yanı sıra mikroplastik benzeri materyallerin de bulunması trichoptera ağlarının su kirliliğine sebep olan kirlenici materyalleri stabil hale getirdiğini göstermiştir.

SONUÇ

Araştırmamız, *H. instabilis* larvalarının laboratuvar ortamında yetiştirilmesinin ve organizmaları öldürmeden ipek ağlarının toplanmasının mümkün olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda larvaların ağlarını öreceklere alan tercihlerini ve bu alanlardaki ağ yapılarını ortaya konulmuştur. Larvalar ağlarını örmek için öncelikle çalışmada kullanılan seramik kutuların köşe bölgeleri ve seramik silindirelerin içi gibi birbirine yakın yüzeyleri tercih ederken ikincil olarak daha aralıklı yüzeylere ağlarını örmüşlerdir. Ortamda taş ve kum benzeri maddeler bulduklarında ise pupa odalarını yapmak için bu malzemeleri kullanmışlardır. Ortamda pupa odası yapacak malzeme bulamadıklarında ise ağlarını yoğun bir şekilde örerek pupa evresine bu ağ kılıf içinde girmişlerdir.

Örülen ağların en önemli özellikleri su içinde yapışma özellikleridir. Bu sayede su altına örülen ağların tabandaki taşları stabilize ettiği, su içinde süzülen organik ve inorganik maddeleri yakaladığı görülmüştür.

Bu çalışmayla *H. instabilis* larvalarının doğal ortamdaki davranışları laboratuvar ortamında test edilmiştir. Larvaların ürettikleri ağların su altında yapışma özelliklerinden dolayı vücut sıvılarında da yapışabilir olması bakımından sağlık alanında, filtrasyon ve süzme özelliklerinden dolayı su arıtımında, dar alanlarda yüksek tutunabilirlik özelliklerinden dolayı da sanayi gibi alanlarda kullanımının uygun olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın ileride yapılacak olan araştırmalara ve sağlık, sanayi, su kalitesi gibi alanlardaki çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

ETİK STANDARTLARA UYUM

a) Yazarların katkıları

1. E. A.: Örnekleme gerçekleştirdi, laboratuvar ortamında örneklerin takibini ve incelemesini gerçekleştirdi.
2. İ. K.: Çalışmayı tasarladı, örnekleme gerçekleştirdi, verileri yorumladı ve makaleyi hazırladı.

b) Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

c) Hayvanların Refahına İlişkin Beyan

Çalışmada yer alan tür, omurgasız olduğundan Hayvan Araştırmaları Yerel Etik Kurulu onayı gerekmemektedir.

d) İnsan Hakları Beyanı

Bu çalışma insan katılımcıları kapsamamaktadır.

e) Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından 1919B012207366 başvuru numarası ile finansal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ashton, N. N., Taggart, D. S., & Stewart, R. J. (2012). Silk tape nanostructure and silk gland anatomy of trichoptera. *Biopolymers*, 97(6), 432-445.
- Albertson, L. K., Cardinale, B. J., & Sklar, L. S. (2014). Non-additive increases in sediment stability are generated by macroinvertebrate species interactions in laboratory streams. *PLoS One*, 9(8), e103417.
- Bouchard, R. W. (2004). Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest. Water Resources Center, University of Minnesota, St. Paul, MN, 208, 159-183.
- Craig, C. L. (1997). Evolution of arthropod silks. *Annual Review of Entomology*, 42(1), 231-267.
- Dijkstra, K. D. B., Monaghan, M. T., & Pauls, S. U. (2014). Freshwater biodiversity and aquatic insect diversification. *Annual Review of Entomology*, 59, 143-163.
- Frandsen, P. B., Bursell, M. G., Taylor, A. M., Wilson, S. B., Steeneck, A., & Stewart, R. J. (2019). Exploring the underwater silken architectures of caddisworms: comparative silkomics across two caddisfly suborders. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1784), 20190206.
- Heim, M., Keerl, D., & Scheibel, T. (2009). Spider silk: from soluble protein to extraordinary fiber. *Angewandte Chemie International Edition*, 48(20), 3584-3596.
- Herold, H. M., & Scheibel, T. (2017). Applicability of biotechnologically produced insect silks. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72(9-10), 365-385.
- Holzenthal, R. W., Blahnik, R. J., Prather, A. L., & Kjer, K.M. (2007). Order Trichoptera Kirby, 1813 (Insecta), Caddis flies. *Zootaxa* 1668:639-698.
- Kim, H. J., Sun, Y., & Moon, M. J. (2020). Fine structure of the silk spinning system in the caddisworm, *Hydatophylax nigrovittatus* (Trichoptera: Limnephilidae). *Applied Microscopy*, 50, 1-11.
- Mackay, R. J., & Wiggins, G. B. (1979). Ecological diversity in Trichoptera. *Annual Review of Entomology*, 24(1), 185-208.
- Malicky, H. (2004). Atlas of European Trichoptera: Atlas der Europäischen Köcherfliegen/Atlas des Trichoptères d'Europe. Springer, Dordrecht, Netherlands, 359 pp.
- Morse, J. C., Frandsen, P. B., Graf, W., & Thomas, J. A. (2019). Diversity and ecosystem services of Trichoptera. *Insects*, 10(5), 125.
- Odabaş, E., Günbey, B., Zengin, Y., & Sarıkaya, H. A. (2020). Dünya ve Anadolu'da İpek Böceğinin Yolculuğu. *Hayvan Bilimi ve Ürünleri Dergisi*, 3(1), 75-84.
- Sehna, F., & Sutherland, T. (2008). Silks produced by insect labial glands. *Prion*, 2(4), 145-153.
- Statzner, B., Rigoux, S. M., & Leichtfried, M. (2005). Mineral grains in caddisfly pupal cases and streambed sediments: resource use and its limitation through conflicting resource requirements. *Limnology and Oceanography*, 50(2), 713-721.
- Tsukada, M., Khan, M. M. R., Inoue, E., Kimura, G., Hun, J. Y., Mishima, M., & Hirabayashi, K. (2010). Physical properties and structure of aquatic silk fiber from *Stenopsyche marmorata*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 46(1), 54-58.
- Tszydel, M., Zabłotni, A., Wojciechowska, D., Michalak, M., Krucińska, I., Szustakiewicz, K., ... & Strzelecki, J. (2015). Research on possible medical use of silk produced by caddisfly larvae of *Hydropsyche angustipennis* (Trichoptera, Insecta). *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 45, 142-153.
- Zamora-Muñoz C, Alba-Tercedor J, García de Jalón D (1995): The larvae of the genus *Hydropsyche* (Hydropsychidae; Trichoptera) and keys for the identification of species of the Iberian Peninsula. *Mitt Schweiz Entomol Ges* 68: 189–210
- Zamora-Muñoz, C., Múrria, C., Bonada, N., & González, M. (2017). The *Hydropsyche instabilis* group (Trichoptera: Hydropsychidae) on the Iberian Peninsula: evolutionary relationships, new species, taxonomical controversies, and a key to larvae. *Arthropod Systematics & Phylogeny* 75 (1): 159-172 PDF 1.7 MB. *Arthropod systematics & phylogeny*, 75, 159-172.