

Türkiye’de Sitogenetik Çalışmalar: Balıklar (Vertebrata, Pisces)

Serkan Saygun¹ 



Öz

Üç tarafı denizlerle çevrili ve yüzlerce tatlı su kaynağı bulunan Türkiye’de tatlı su ve deniz türleri dahil olmak üzere toplam dokuz yüz üç balık türü olduğu bildirilmiştir. Türkiye balık sitogenetiğinde son otuz beş yılda, toplam balık türlerinin yaklaşık %11’ine karşılık gelen, 38’i endemik tür olan ve 17’den fazla takımda yer alan 103 tür/alttürün kromozom özellikleri incelenmiştir. Tüm bu çalışmalarda geleneksel sitogenetik yöntemler kullanılarak (Giemsa, NOR-, C-, GTG-, Q- ve RE boyama-bantlama) balıkların karyotipleri, kromozom sayıları ve yapıları, kol sayıları (NF) ve bazı gen bölgeleri (NOR, heterokromatin vb.) ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, Türkiye’de ilk defa üç endemik cyprinid türünün kromozomlarında CMA3 ve DAPI boyama yapılmıştır. 48 balık türünün kromozomlarında tekrarlayan DNA ve heterokromatik bölgeler NOR ve C-bantlama ile belirlendi. Türkiye’deki diğer balık gruplarına kıyasla en çok görülen Cypriniformes takımının üyesi (Cobitidae, Nemacheilidae, Cyprinidae ve Leuciscidae familyalarından) 69 türün sitotaksonomik ve sitogenetik analizi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre sitogenetiksel incelenen balıklarda çoğunlukla kromozom sayısı $2n = 50$ olduğu tespit edilmiştir. En yüksek kromozom sayısının $2n = 150$ olduğu ve en düşük kromozom sayısının iç sularda doğal olarak bulunan bir Bagridae türüne ($2n = 32$) ait olduğu da kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balık, Kromozom Sayısı, Karyotip, Sitogenetik, Sitotaksonomi

Cytogenetic Studies in Turkey: Fishes (Vertebrata, Pisces)

Abstract

In Turkey surrounded by sea on three sides and hundreds of freshwater resources, it was reported that there is a total of 903 species of fish including freshwater and marine species. In the last thirty-five years in Turkish fish cytogenetics, 103 species/subspecies, 38 of which are endemic species and belonging to more than seventeen orders, corresponding to approximately 11% of the total fish species, had been studied their chromosomes. In all studies, their karyotypes, chromosome number and structure, the arm number (NF), and some specific gene regions (NOR, heterochromatin, etc.) on chromosomes of fish had been revealed by using conventional cytogenetic methods (Giemsa, AgNOR-, C-, GTG-, Q- and RE staining/banding). However, CMA3 and DAPI fluorescence staining in the chromosomes of three species of endemic cyprinids is made for the first time in Turkey. Repetitive DNA and heterochromatic regions in the chromosomes of 48 fish species were determined by NOR and C-banding. Compared to other fish groups in Turkey, the most widely seen Cypriniformes order’s member (from families of Cobitidae, Nemacheilidae, Cyprinidae, and Leuciscidae) is made the cytotaxonomic and cytogenetic analysis of 69 species. According to these results, it was found that mostly chromosome number was $2n = 50$ in fishes which were examined cytogenetically. It had also been noted that the highest chromosome number is $2n = 150$, and the lowest chromosome number was belonging to a Bagridae species ($2n = 32$) naturally found in inland waters..

Keywords: Fish, Chromosome Number, Karyotype, Cytogenetics, Cytotaxonomy

¹Ordu Üniversitesi Fatsa Deniz Bilimleri
Fakültesi, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği
Bölümü, Ordu, Türkiye

ORCID: S.S. 0000-0002-9789-3284

Başvuru: 10.01.2021

Revizyon talebi: 14.01.2021

Son revizyon teslimi: 19.01.2021

Kabul: 29.01.2021

Sorumlu Yazar: Serkan Saygun
serkan_saygun@hotmail.com

Atf: Saygun, S. (2021). Türkiye’de
Sitogenetik Çalışmalar: Balıklar (Vertebrata,
Pisces). *Turkish Journal of Bioscience and
Collections*, 5(1), 83-107.
<https://doi.org/10.26650/tjbc.2021857383>

Giriş

Kromozomlar 1800'lerin ilk yarısına kadar "transitory cytoblasts" olarak bilinirken, ilk defa 1840'da Hofmeister tarafından bitkilerin hücre bölünmesi esnasında gözlenen hücre yapısını, sitogenetiğin kurucusu da kabul edilen 1848'de Flemming "kromatin" olarak belirtmiştir. 1888'de ilk defa Alman anatomist Waldeyer bu hücre çekirdeği organelini daha iyi görünebilir hale getiren boyama teknikleri geliştirdiğinde "chromosom" yani Yunanca χρωμα (*chromos* = renkli), σῶμα (*soma* = vücut) terimini ortaya atmış ve bu terim hücre içi organelin adı olarak kabul edilmiştir. Bu alandaki büyük atılımların ardından hızla tüm canlılara uyarlanan karyolojik metotların uygulanması ile genomun fiziksel olarak ortaya çıkartılması sitogenetiği yirminci yüzyılın sonlarına kadar en popüler bilim dalı haline getirmiştir (Kannan & Zilfalil, 2009; Anonim, 2020). Birçok omurgalı ve omurgasız hayvanın oositlerinin germinal veziküllerinde bulunan ve mayoz bölünmenin profazında görülen Lampbrush kromozomlarının (LBC) ilk Flemming (1882) tarafından tespit edilmesinden on yıl sonra Selachian köpek balıklarının oositlerinde Rückert (1892) tarafından LBC tespit edilmiştir. Sitogenetik alanındaki bu önemli adımlarla birlikte, Rückert (1892)'in çalışması balık kromozomlarının belirlendiği ilk çalışma olma özelliğini de taşımaktadır.

Türkiye'de de sitogenetik, tarımsal alanda ürün geliştirme ve üretimi artırma çalışmalarının hızlandığı 1960'lı yıllarda başladığı görülmektedir. Elçi (1965, 1966) yapmış olduğu Anadolu'ya özgü tahıllarda melezleme çalışmalarının sonuçlarını değerlendirmek amacıyla ilk defa sitogenetik ve sitotaksonomik araştırmalar yaparak bitkilerde çeşitli metotlar geliştirmiştir (Sağsöz, 1972). Bundan sonraki yıllarda da çeşitli üniversitelerde akademik anlamda tarım ve botanik alanlarında ilk sitogenetik araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Zooloji alanında ise Çolak, *vd.* (1985) tarafından beni balığında (*Cyprinion macrostomum*) ilk sitogenetik inceleme yapılırken sonraki kromozom çalışması ise memelilerde gerçekleştirilen ilk çalışma olarak Gülkaç (1987) tarafından Malatya kör fareleri (Rodentia) üzerine yapılmıştır. Türkiye Yüksek Öğretim Kurumu tez merkezinden elde edilen bilgilere göre balıklarda ilk akademik tez çalışması da *Capoeta capoeta umbla* türünde gerçekleştirilmiştir (Gül, 1988).

Türkiye'de tatlı sularda yaşayan 391 (Saygun, 2021) ve denizlerde 512 balık türü olduğu bilinmektedir (Bilecenoğlu, *vd.*, 2014). Yapılan sitotaksonomik çalışmalara göre bu türlerin içerisinde yaklaşık %89'unun karyotipinin belirlenmediği görülmektedir. İncelenen

tuzlu su balıkları, tatlı su türlerinden çok daha azdır. Bunun nedeni balıklarla çalışma, örnek alma, yöntemlerin adapte edilmesi vb. gibi zorluklar ve sebepler olabilmektedir. Metodolojik açıdan bakıldığında dünyada moleküler sitogenetik yöntemler yaygın hale gelmesine rağmen en son çalışmalarda dahi geleneksel sitotaksonomik yöntemler (havada kurutma ve kültür metotları ile yapılan Giemsa, GTG-, AgNOR-, C-, Q- ve RE-bantlamaları) kullanılmaktadır (Araya-Jaime, *vd.*, 2020; Goes, *vd.*, 2020; Moreva, 2020). Son olarak Türkiye'de sitogenetik alanında sadece bazı sazangillerde yapılmış araştırmaların incelendiği çalışmalar da bulunmaktadır (Arslan, *vd.*, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d).

Bu çalışmada Türkiye'de balıklar üzerine yapılmış kromozom araştırmalarının metodolojik ve tür bazında sitogenetik yönlerden sonuçlarını geçmişten günümüze detaylı durum analizi yapılmıştır.

Metodolojik Durum

Başlangıçta memeli ve bitki türlerinin diploit kromozomlarını metafazda kromozomlar bir araya sıkıştıkları için tespit etmek güçtü. 1950'lerde kolçisin hücre bölünmesini metafazda durdurduğu keşfedilip ardından hipotonik solüsyonunun kullanımıyla kromozomlar daha da rahat görünür hale geldi (Sharma & Sharma, 1980). Kromozomlar 19. yüzyılda keşfedilmesine rağmen günümüzden altmış beş yıl önce Tijo & Levan (1956) tarafından insan diploit kromozom sayısının 46 olduğu belirlenmiştir. Bundan dört yıl sonra 1960'da kromozomların ilk sınıflandırması Denver konferansı ile kabul edilirken Levan, *vd.* (1964) tarafından belirlenen kurallara göre revize edilerek dünya genelinde kabul edilen nomenklatür oluşmuştur.

Balıklarda kromozomlar günümüzde dünyada konvansiyonel ve moleküler olmak üzere iki temel sitogenetik yöntemle incelenmektedir. Bilim ve teknoloji geliştikçe özellikle boyama teknikleri buna bağlı mikroskop teknolojilerindeki ilerlemeler kromozomların fiziksel olarak yapılarında barındırdıkları genetik özellikleri belirlemek kolaylaşmıştır. Öyle ki 80'li yıllarda insan sitogenetiği ile başlayan diğer canlılarda da yaygınlaşan bu fiziksel yapıdaki moleküler evrim sürecinin takip edilebilmesi için kromozom anomalilerinin tespitinde FISH (Fluorescence *in situ* hybridization) ve PRINS gibi moleküler tekniklerle kromozom haritalamasının yapılması DNA'nın evrimsel yapısını fiziksel olarak görüntülemesine olanak sağlamıştır (Liehr, 2017). Türkiye'de sitogenetik serüverinin başladığı ilk yıllardan günümüze kadar geçen sürede gelişmiş moleküler teknikler yerine geleneksel

yöntemler kullanılmaktadır. Bu nedenle burada konvansiyonel metotlar ve bunların sonuçları irdelenmiştir.

Kromozom Kaynağı

Balıklarda kromozom elde edilmesinde birçok doku hücresi, özellikle epitel dokular kullanılmaktadır. Bu epitel dokulardan da direkt ve indirekt yollarla kromozom tespit yöntemleri geliştirilmiştir. Direkt metotlarda balık iç ve dış organlarına ait epitel hücrelerinden özellikle yüzgeçler, pullar ve solungaçlar gibi dış organlardan, dalak, böbrek ve karaciğer gibi iç organlardan, kornea, embriyo ve testis gibi farklı yapılardan kromozom tespiti mümkündür (Denton, 1973). Dolaylı yollardan da bu dokuların dış ortamda geliştirilmesini sağlayan zaman ve masrafları direkt yöntemlere göre çok ağır olan kültür yöntemleri ile de kromozomlar kolaylıkla tespit edilebilir. Önemli alt yapı gereksinimleri olan uzun ve kısa süreli olmak üzere tamamen *in vitro* koşullarda doku ve kan kültürü metotlarından kromozomlar belirlenmektedir.

Ülkemizde yapılan yüzü aşkın çalışmada çoğunlukla direkt böbrek ve solungaç epitel hücreleri kullanılmıştır. Türkiye’de çalışmaların büyük çoğunluğu böbrek dokusundan kromozom tespitine dayalı olan Collares-Pereira (1992)’nin belirttiği metot benimsenmiştir (Tablo 3). Bu metottan bağımsız olarak böbrek hücreleri Ulupınar & Okumuş (2002b), Pekol (2003), Hamalosmanoğlu & Kuru (2004) ve Pekol & Arslan (2014) tarafından kullanılmıştır. Değer, vd. (2013) Ráb (1981)’in belirttiği klasik metoda göre böbrek dokusundan faydalanarak kromozomları tespit etmiştir. İkinci en çok kullanılan doku ise solungaç dokusu çoğunlukla Kligerman & Bloom (1977)’un bildirdiği metoda göre muamele edilmiştir (Saygun, vd., 2001; Örs, 2003; Ergene & Çavaş, 2004; Gül, vd., 2006; Saygun, vd., 2006; Ölmez Aydın, 2006; Nur, vd., 2008; Karahan & Ergene, 2009; Saygun & Bircan, 2015; Saygun & Saygun, 2016; Saygun, vd., 2018; Saygun, 2018). Kenanoğlu, vd. (2013) bu iki kromozom kaynağından farklı olarak bir poliploidi tespitinde 2 günlük alabalık (*O. mykiss*) embriyo ve larvalarından Völker & Kullmann (2006) ile Pradeep, vd. (2011)’nin belirttiği yöntemlere göre kromozomları incelemiştir.

Kromozom Elde Etme

Balıklarda kromozomların tespitinde *in vivo* ve *in vitro* yollarla birçok dokudan faydalanılmaktadır. Balıklarda ilk sitotaksonomik çalışma olan Çolak, vd. (1985) gümüş balığı, *Cyprinion macrostomum*’da tamamen *in vitro* koşullarda olmasa da önce mitotik inhibitör uygulanan örneklerden alınan böbreklerden daha sonra Moorhead, vd. (1960)’nin

geliştirdiği mikrokültür yöntemi ile kromozom tespit edilmiştir. Karahan (2016) lenfosit hücrelerinin lökosit kültürü yöntemini uygulayarak tamamen *in vitro* koşullarda ürettiği hücrelerden kromozom elde etmeyi başarmıştır. Bu çalışmada Fujiwara, vd. (2001)’in belirttiği yöntemlere göre örneklerin kuyruk venasından 1-2ml kan örnekleri kültüre edilmiştir. Kültür yöntemi direkt yöntemlere göre kromozom kalitesi, metafaz sayısı bakımından avantaj sağlasa da steril laboratuvar koşullarının sağlandığı ekonomik olmayan ve tecrübe gerektiren uzun bir yöntemdir. Her ne kadar balıklarda geliştirilmiş kısa süreli kültür yöntemleri (Fenocchio, vd., 1991) ile kromozom elde edilmesi mümkün olsa da direkt yöntemlere göre yine de uzundur.

Mitojen Muamelesi

Balık kromozomu çalışmalarında en büyük sorunlardan birisi de çok sayıda kaliteli metafazın elde edilmesidir. Bu amaçla ilk olarak lökosit kültürlerinde hemopoetik dokuda üretildikleri için kan hücreleri normalde damarlar içinde hareket ederken bölünmezler. Kültürdeki kırmızı kan hücrelerinin mitoz bölünmesini tetiklemek için “mitojen” adı verilen ve kırmızı fasulyeden (*Phaseolus vulgaris*) özütü elde edilen fitohemaglutinin maddesi kültür ortamına ilave edilerek bölünme hızlandırılmıştır. Bu mitojenin iki tipi kullanılmaktadır: PHA-M ve -P tipleri. -P tipi ilk çıkan -M tipine göre balıklarda beş kat daha fazla etkili olduğu gözlenmiştir. Diğer bir mitojen ise yine bitkilerden elde edilen PWM (Pokeweed mitojen) balıklardan çok memelilerde daha etkili olmuştur (Denton, 1973). İlk defa 1966’da Labat, vd.’nin *Cyprinus carpio*’da yaptıkları lökosit kültüründe PHA ile başarılı sonuçları elde ettiği bildirilmiştir (Denton, 1973). Balıklara direkt yöntemlerde birçok araştırmacı tarafından mitoz durdurucu maddelerin uygulanmasından en az iki gün önce örneğin vücut ağırlığına orantılı olarak PHA solüsyonu intraperitonealden enjeksiyon ile uygulanarak mitotik aktivite artırılmaya çalışılmıştır (Thorgaard & Disney, 1990). Türkiye’de *Cyprinion macrostomus* ve *Chalcalburnus mossulensis*’in karyotip analizleri için mitotik inhibitör muamelesinden 48 saat önce balıklara intraperitoneal olarak %0,1’lik PHA’dan 1g vücut ağırlığına 0,01 ml enjeksiyonu yapıldı (Gaffaroğlu & Yüksel, 2004, 2005). Bu oranlardan çok daha yüksek olan %1 oranında PHA uygulamaları da olmuştur (Kılıç & Şişman, 2016; Şişman, vd., 2016). İnkübasyon süresi bakımından Ergene & Çavaş (2004) bir akvaryum balığı olan *Garra rufa* örneklerini %0,1 PHA enjeksiyonundan sonra 45 saat inkübasyon uygulamışlardır.

Mitojen olarak PHA’dan başka glukozlu maya (Lee & Elder, 1980), CoCl₂ solüsyonu (Cucchi & Baruffaldi, 1990)

ve bunlara ek olarak Munolan (Molina, 2001) uygulamaları da vardır. CoCl_2 'nin biyolojik etkisi, hücre solunumunda hayati öneme sahip iki adım olan piruvatın asetilkoenzim A'ya ve a-ketoglutaratın süksinata dönüşümünü engellemesidir. Doku hipoksisinin bir sonucu olarak kobalt, eritropoitein oluşumunu uyararak hematopoietik organların hücre proliferasyonunda artışa neden olur (Cucchi & Baruffaldi, 1990). Metafazı tetiklemesi bakımından yayın balıklarında CoCl_2 'ye çok olumlu yanıtlar aldığı bildirilirken, %0,4 oranında solüsyondan en uygun dozun 100 g vücut ağırlığına 0,5ml solüsyon (2 mg CoCl_2 /100g vücut ağırlığı) şeklindeki enjeksiyondan 72 saat sonra en iyi sonuçların alındığı kaydedilmiştir (Cucchi & Baruffaldi, 1990). Türkiye'de ilk olarak CoCl_2 muamelesini *Alburnoides bipunctatus*'ta %0,4 oranındaki solüsyondan örnek vücut ağırlığına 0,2ml uygulayarak başarılı olduğu Kılıç Demirok & Ünlü (2004) tarafından belirtilmiştir. Alemdağ (2017) salmonidlere %0,4'lük CoCl_2 solüsyonundan gram vücut ağırlığına 0,005ml enjekte ederek 72 saatlik inkübasyondan sonra Mİ (mitotik inhibitör) uygulamış ve başarılı olduğunu açıklamıştır (Tablo 1).

Mitotik İnhibitör (Mİ) Uygulama İşlemi

Kolçisin ilk defa 1883 yılında *Colchicum autumnale* bitkisinin kökünden izole edildikten sonra sitolojik çalışmalarda özellikle mitoz hücre bölünmesinde metafaz safhasında kromozomların kalınlaşıp sentromerlerinden iç ipliklerini keserek kutuplara çekilmesini engelleyen, bu yüzden mitotik inhibitör olarak isimlendirilen kolçisin kullanılmaktadır. Kolçisinden hariç kloralhidrat, gammeksan, asenfenten, vinblastin sülfat (Velban) ve vincalucoblastine, kolsemid (de-acetyl methyl colchicine) vb. maddelerde hem insan kromozomlarında hem de diğer tüm canlılarda uygulanmıştır (Sharma & Sharma, 1980). Dünyada sitogenetik çalışmalarında neredeyse her on çalışmadan dokuzunda kolçisin solüsyonları kullanıldığı görülmektedir. Kolçisin bitkilerde olduğu gibi yüksek konsantrasyonlarda ve uzun sürelerde uygulandığında özellikle üreme organlarında poliploidiye yol açmakta, bunun önüne geçmek için %0,5 oranında ve 1 saatlik muamele ile poliploidi oluşmadan kromozomların kollarının uzadığı daha görünür olduğu belirtilmiştir (Sharma & Sharma, 1980). Genelde örneklere *in vivo* olarak peritonealden uygulanan kolçisinin konsantrasyonu %0,01 ile 0,1 arasında ve bir saat ile on saate kadar inkübasyon süresi gerektirebilmektedir. Hücreler kolayca metabolize olduğu için 12 ile 14 saat sonra etkisini yavaş yavaş kaybettiği düşünülmektedir (Denton, 1973). Yapılan

çalışmalarda farklı farklı oranlarda ve sürelerde kolçisin kullanılmasına rağmen %0,025 (Arslan & Takı, 2012) ile %6 (Kılıç & Şişman, 2016) oranlarda minimum 2 saat (Karasu Ayata, *vd.*, 2016a) ve maksimum 6 saate (Saygun, *vd.*, 2001) kadar değişen sürelerde inkübasyon uygulandığı görülmüştür (Tablo 1). İnkübasyon süresi kolçisin oranıyla ters orantılı olarak değiştiği anlaşılmaktadır. Dünya'da en çok kullanılan başarılı sonuçların alındığı metotlarda bu yüzde oran ve süreler %0,2-0,5 (1ml/50g v.a.) ve 2-3 saat (Bertollo, *vd.*, 1978), %0,1 (1ml/100g v.a.) ve 1 saat (Rab & Roth, 1988) olarak değişmektedir. Kolçisinden hariç *Barbus capito pectoralis*, *B. rajanorum* ve *B. longiceps*'ta 100g v.a. için %0,1 kolsemitten 1ml enjekte edilerek metafaz elde edilmiştir (Turan, *vd.*, 2005). Bu *in vivo* kolçisin uygulamasının yanı sıra *in vitro* olarak da kolçisin uygulanmaktadır. Balık örneklerinden alınan yüzgeç ve solungaç epitel dokuları oda sıcaklığında HSS (Hank Tuz Solüyonu) de iyice homojenize edildikten sonra hücre süspansiyonu santrifüj tüplerine aktarılmış ve üzerine bir damla %0,03 kolçisin solüsyonu ilave edilip 37°C'deki bir inkübatörde 15dk bekletilmesinin ardından 7 dakika santrifüjleme sonrasında hipotonik muamelesine geçilmiştir (Foresti, *vd.*, 1993).

Hipotonizasyon İşlemi

Balık dokusunun hipotonik muamelesi, hücreleri şişiren ve kromozomları dağıtan bir işlemdir. Bu işlem, doku balıktan çıkarıldıktan hemen sonra yapılır. Hipotonisite, hücrenin içindekinden daha az yoğun hücre dışındaki ortamı ifade eder. Bu hipotonik çözelti, distile sudan, sodyum sitrat solüsyonuna, potasyum klorür veya seyreltilmiş izotonik tuz çözeltisine kadar her şey olabilir. Muamele süreleri normalde yedi dakika ile bir saat arasında değişir. İşlemi hızlandıran sıcaklığa bağlı olarak süre değişecektir ve sıcaklığa bağlı olarak azaltılmalıdır. Ayrıca bazı dokular diğerlerinden daha hassastır (Denton, 1973). Balık sitogenetiğinde en çok kullanılan hipotonik solüsyonu, KCl'nin çeşitli oranlarda sulandırılmış halidir ve çoğunlukla 0.075M veya %0,56'lık konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. KCl'nin etkinliğini arttırmak için hipotonik muamelesi oda sıcaklığında (Turan, *vd.*, 2005; Saygun & Saygun, 2016; Saygun, *vd.*, 2018) veya 37°C sıcaklıkta uygulanması yapılabilmektedir (Gaffaroğlu & Yüksel, 2005; Alemdağ, 2017). Türkiye'de iki çalışmada bu oranlardan farklı olarak Cataudella, *vd.* (1977)'nin belirttiği gibi 0,046M KCl'de solungaç dokuları 45 dk bekletilmiştir (Gül, *vd.*, 2004, 2006). KCl'den farklı olarak Cestari, *vd.* (1992) ve Amemiya & Gold (1990) tarafından bildirilen metoda göre distile suda çözülmüş Fetal buzağı

Tablo 1: Türkiye’de balık kromozomları üzerine yapılan bazı çalışmaların metodolojik detayları.

Takson	Mitojen uygulaması %, ml/g v.a., süre (s, saat)	Kolçisin Muamelesi (g-100g v.a.: s)	KCl solüsyonu inkübasyon süresi (dk)	Fiksasyon (Carnoy) Metodu, Süre (dk)	Giemsa (%), süre (dk)	Referans
Cyprinidae		%0,6, 0,01ml, 3,1s	0,046M, 45'	40'	%20, 7'	Gül, <i>vd.</i> (2004)
Cyprinidae	PHA %1, 0,01ml, 48s	%6, 0,01ml, 4s	0,075M, 50'	2000rpm×3×5'	%5, 35'	Kılıç & Şişman (2016)
Balitoridae		0,0006g, 3,5-4s	0,046M, 30-40'	2000rpm×2×10'	%5, 20-30'	Kılıç, <i>vd.</i> (2011)
Soleidae		%0,05-0,005, 25-50 µg, 6s	%0,4, 30-40'	30'×3	15'	Saygun & Saygun (2016)
Cyprinidae		%0,25, 4-5s	%0,36, 45'	60'	%10, 10'	Arslan & Takı, (2012)
Cyprinidae		%0,1, 1ml, 2s	0,075M, 40'	30' 1200rpm×3×10'	%10, 20'	Karasu Ayata, <i>vd.</i> (2016a)
Cyprinidae		%0,1, 0,01ml, 45'	0,075M, 15'	1000rpm×3×10'	%10, 15-25'	Ünal & Gaffaroğlu (2016a)
Cyprinidae	PHA %1, 0,01ml, 48s	%6, 0,1ml, 4s	0,075M, 50'	2000rpm×2×10'	%5, 35'	Kılıç & Şişman (2016)
Salmonidae		%0,5, 0,8ml, 3-5s	%0,56, 30'	100g× 2× 7'	%4-6, 5-30'	Örs (2003)
Salmonidae	CoCl ₂ %0,4, 0,005ml/g 72s	0,05-0,1mg/l, 6s	0,075M, 20'-2s, 37°C	1000rpm×3×10'	%10, 10'-30'	Alemdağ (2017)
Cyprinidae	PHA %0,1, 48s	%0,1, 0,01ml, 2-2,5s	0,075M, 30', 37°C	30' rpm×2×15'	%10	Gaffaroğlu & Yüksel (2005)
Cyprinidae	CoCl ₂ %0,4, 0,2ml, 48s	%0,1, 1ml, 2s			%0,5	Kılıç Demirok & Ünlü (2004)
Cyprinidae		%0,1, 1ml, 3,5-4s	0,075M, 35-40'	2000rpm×3×10'	%0,5, 6'	Ölmez Aydın & Kuru, 2001
Cyprinidae		%1, 1ml, 3-4s	0,075M, 45', 30°C	15' 2000rpm×3×10'	%5, 35'	Hamalosmanoğlu & Kuru (2003)
Cyprinidae		%0,1, 1ml, 3-4s	0,075M, 25'	2000rpm×3×10'	%10, 6'	Pekol (2003)
Cyprinidae	PHA %0,01, 48s	%0,1, 0,01ml, 3,5-4s				Gaffaroğlu & Yüksel (2004)
Cyprinidae		%0,1, 1ml, 2,5s	0,075M, 30'	rpm×3×10'	%10, 10-15'	Gaffaroğlu, <i>vd.</i> (2012)
Cyprinidae		%0,6, 0,01ml, 3,1s	1:7,5 Fetal calfserum : v.a. 40', solungaç	40'×3	%20, 7'	Nur, <i>vd.</i> (2008)
Balitoridae		%0,6, 0,01ml, 3,1s	1:7 Fetal calfserum: v.a. 45', solungaç	40'	%10, 10'	Kaya, <i>vd.</i> (2005)
Salmonidae		%0,02, embriyo, 2s, larva, 6-7s	0,075M, 20-60'	15' 2000rpm×3×10'	%5, 20'	Kenanoğlu, <i>vd.</i> (2013)
Mugilidae		%0,01, larva 6-7s	%0,56		%7, 25-30'	Saygun, <i>vd.</i> (2001)
Cyprinidae		%1 kolsemit, 1ml, 4s	0,075M, 30', 25°C	2000rpm×3×10		Turan, <i>vd.</i> (2005)
Siluridae		%0,1, 1ml, 5s	0,075M, 35-40'	2000rpm×3×10'	%5, 6'	Aydın (2005)
Cyprinidae		%0,6, 0,01ml, 4-4,5s	0,075M, 30'	2000rpm×3×10	%4	Gül, <i>vd.</i> (2000)
Mullidae		0,1mg, 6-7s	%0,4, 30-40'	30'×3	%4, 20'	Saygun, <i>vd.</i> (2006)
Claridae		%0,06, 4-4,5s	%0,75, 30-35'	rpm×3×10'	%10, 30'	Ergene, <i>vd.</i> (1999)

Cyprinidae	PHA-M %0,1, 48s	%0,06, 1ml, 3.5-4s			%5	Kılıç Demirok & Ünlü (2001)
Cyprinidae		%1, 1ml, 3-4s	0,075M, 45', 30°C	2000rpm×3×10'	%5, 35'	Hamalossoğlu & Kuru (2004)
Cyprinidae		%0,6, 0,01ml, 3,1s	0,046M, 45'	40'	%20, 7'	Gül, <i>vd.</i> (2004)
Cyprinidae	PHA %0,1, 0,01ml, 45'	%0,5, 0,01ml, 3s	60'	2000rpm×3×10	%5, 20'	Ergene & Çavaş, (2004)
Cichlidae	PHA %0,1, 48s	%0,06, 4s	Distile su, 54'	2000rpm×5×10	%5, 30'	Ergene & Çavaş (1999)
Cyprinidae	PHA %1, 0,01 ml, 48s	%6, 0,01ml, 3,1s	0,075M, 60'	2000rpm×3×10	%5, 35'	Şişman, <i>vd.</i> (2016)

serumunda (1:7-7.5) 40-45 dk. inkübe edilen solungaç dokuları hipotonize edilmiştir (Nur, *vd.*, 2008; Kaya, *vd.*, 2005). Bununla birlikte, Ergene & Çavaş (1999) hipotonik olarak distile su kullanmıştır. Tablo 1'de görüldüğü gibi burada incelenen çalışmalarda hipotonik muamelesi sonunda birkaç ml Carnoy fiksativ eklenerek dokular ön fiksasyona tabi tutulup, 10-15 dk'lık santrifüjleme sonrası fiksasyon işlemine geçilmiştir (Blanco, *vd.*, 2012).

Fiksasyon İşlemi

Hipotonikle şişirilerek patlatılmış hücreler boyama için preparatlara yayma işleminden önce kimyasal olarak sabitlenir. Fiksasyonun amacı, hücreyi bileşenlerini bozmadan öldürmektir. Pek çok fiksativ içinde 3: 1 oranında metanol ve glasiyal asetik asit solüsyonu (Carnoy solüsyonu) sitogenetikçiler tarafından en çok kullanılan solüsyondur. Bu fiksativ, her zaman kullanımdan hemen önce taze olarak hazırlanır (Thorgaard & Disney, 1990; Denton, 1973). Fiksasyonda süre ve uygulama şekli değişimler göstermektedir. Genelde minimum 10 dakikalık sürelerle toplamda 30 dk olacak şekilde birkaç defa fiksativ yenilemek suretiyle uygulanır. Bu işlem dokular ya hipotonikten hemen alındıktan sonra fiksativte bekletme (30 dakika ve 3 defa yenileme) (Saygun, 2005; Ataç Şahin, 2015) veya santrifüj gibi araçlarla belli sürelerde fiksativ solüsyonunda yüksek hızda karıştırma (santrifüjleme) şeklinde muamele edilir (Tablo 1). Bu değiştirme işlemi esnasında santrifüjleme ile dokuların fiksativ ile daha homojen hale gelmesi sağlanır. Santrifüjleme süresi ve karıştırma hızı (rpm, rotor per minute veya g, gravite) yapılan çalışmalarda değişiklik göstermiştir. Soğuk fiksativ ile muamele yaygın olarak kullanılan bir durumdur. Tablo 1'den de görüldüğü gibi çoğu çalışmada fiksasyon 1000-2000rpm arasında 10 dakika ve min. 2 defa fiksativ değiştirme işlemi yapılmıştır.

Preparasyon İşlemi

Sitogenetikte yayma işlemine başlamadan önce doku hücrelerinin iyice homojenize edilmesi gerekir. Yaymada iki yöntem benimsenmiştir: Havada kurutma ve ezme preparasyonlarıdır. Havada kurutma, hayvan kromozomlarının hazırlanmasında en çok kullanılan yöntemdir. Fikse edilmiş hücre solüsyonu temiz bir lam üzerine belirli bir yükseklikten pastör pipeti vb. ile damlatılır ve en az yirmi dakika kurumaya bırakılır. Hücreler lamın üzerine damladığı andan hemen sonra, preparatın üzerine doğrudan üfleyerek veya bir üfleyiciden sıcak hava uygulayarak yayma daha da kolaylaştırılabilir (Denton, 1973). Ezme (squash) tekniği, metafaz kromozomlarını yaymak ve düzleştirmek için en eski ve en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Uygulama kısaca; şişmiş doku parçaları bir pens yardımıyla lam üzerinde %50 asetik asit veya fiksativ ile ezdikten sonra lamel kapatılarak lama yayılmasıdır (Thorgaard & Disney, 1990). Yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda havada kurutma tekniği uygulanarak dokuların sulandırılmış asetik asitte (%50) ezilmesinden sonra veya fiksativli dokular son santrifüjden sonra supernatant atılmasının ardından kalan hücre solüsyonu ısıtılmış veya dolapta bekletilmiş soğutulmuş lamlar üzerine halkalar oluşturacak şekilde belli bir yükseklikten damlatma ile uygulanmıştır. Türk araştırmacılar yayma işlemi başka bir deyişle preparat hazırlamada çoğunlukla Collares-Pereira (1992)'nin belirttiği havada kurutma tekniğini küçük modifikasyonlar yaparak çalışmışlardır.

Boyama ve Bantlama İşlemi

Günümüzde kromozom tiplerini ve sayılarını ortaya çıkarmak için geleneksel Giemsa boyaması yapılırken, kromozomların üzerindeki özel gen bölgelerinin kısmi ve fiziksel haritalanmasında konvansiyonel boyama veya bantlamalar ve flüoresans boyamalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda çoğunlukla C-bantlama ve NOR-bantlamalar başarıyla uygulanmıştır.

C-bantlama, temel heterokromatinin dağılımını ortaya çıkarmaya ve ayrıca karyotip evriminde, türleşmesinde ve cinsiyet kromozomlarının farklılaşmasındaki rolünü belirlemeye yardımcı olur. C-bantlama, balık kromozomlarında oldukça başarılı olmuştur (Sharma, vd., 2002). C-bantlama tekniği, baryum hidroksit veya başka bir alkali kullanılarak kromozomal DNA'nın denatürasyon aşamasını içerir. Bu, C-bandı negatif olan bölgelerde DNA ve protein kaybolmasına neden olur. C-bandı pozitif bölgeler bu muameleye karşı daha iyi korunur, böylece bu kromozomal kısımların boyanmasına izin verir. Bununla birlikte, altta yatan mekanizma hala belirsizdir (Köhler, 1999). Türkiye'de yapılan araştırmalarda elde edilen C-bant örnekleri, farklı ailelerde dağılım gösteren yaklaşık 48 balık türü için belirtilmiştir (Tablo 3). Bu çalışmalar balık kromozomları üzerindeki C-bantlarının varlığını ve yerini belgelemeye odaklanmıştır. Tüm çalışmalarda C-bant yöntemi Sumner (1972) tarafından belirlenen şekilde yapılmıştır. Yapılan C-bantlama sonuçlarına göre türlerin çoğunun kromozomların, sentromerlerinde veya çevresinde (perisentromerik) ve çoğunlukla da kromozom uçlarında (telomerik) C bantlarına sahiptir. C-bantları, kromozom kolları boyunca (interstitiyel) ve akrosentrik kromozomların tamamen heterokromatik kısa kollarında da bulunabilmektedir. Yapılan birçok çalışmada bu durumlar söz konusu olup C+ bölgeleri balık türlerine göre değişiklik göstermiştir (Tablo 3). Bunlar;

Sadece sentromerik durumlu kromozoma sahip olanlar: *Chalcalburnus tarichi* (Gül, vd., 2003), *Turcinoemacheilus kosswigi* (Gaffaroğlu, vd., 2012), *Alburnoides bipunctatus* (Gaffaroğlu, vd., 2014c), *Seminemacheilus lendlii* (Gaffaroğlu, vd., 2015; Ünal, vd., 2016a), *Upeneus mollusensis* (Karahana, 2016), *Pseudophoxinus battalgilae*, *P. burduricus*, *P. egridiri*, *P. evliyaevae*, *P. fahrettini*, *P. maeandri* (Karasu Ayata, vd., 2016a), *Capoeta damascina*, *Pseudophoxinus zekayi*, *Alburnus adanensis*, *Squalius seyhanensis*, *Luciobarbus pectoralis* (Ünal & Gaffaroğlu, 2016), *Oxynoemacheilus atili* (Karasu Ayata, vd., 2018b), *Esox lucius* (Arslan & Alpaslan, 2020).

Perisentromerik durumlu C+ kromozoma sahip olanlar: *Pseudophoxinus firati* (Karasu, vd., 2011), *Pseudophoxinus crassus*, *P. hittitorum* (Ünal, vd., 2014), *Cyprinus carpio* ve *Luciobarbus pectoralis* (Ünal & Gaffaroğlu, 2016), *Cobitis phrygica* ve *C. simplicispina* (Karasu Ayata, vd., 2018a), *Luciobarbus kottelati* (Karasu Ayata & Gaffaroğlu, 2019), *S. carinus*, *S. fellowesii* (Karasu Ayata, 2020b).

Hem sentromerik hem de perisentromerik pozisyonda C+ bölgesi balık türleri: *Garra rufa* (Karahana & Ergene, 2009), *Tinca tinca* (Arslan & Takı, 2012), *Chondrostoma*

beysehirense (Arslan & Gündoğdu, 2016), *P. egridiri* ve *P. fahrettini* (Karasu Ayata, vd., 2016a), *A. adanensis*, *P. zekayi* ve *Squalius seyhanensis* (Ünal & Gaffaroğlu, 2016), *Alburnus nasreddini* (Alpaslan, 2020).

Kromozomlarında interstitial pozisyonda C+ bölgeleri tespit edilen türler: *Garra variabilis* (Karahana & Ergene, 2010), *T. tinca* (Arslan & Takı, 2012). Sentromerik ve interstitial (arada) C+ olan balık türü tek bir çalışmada bildirilmiştir: *Clarias gariepinus* (Karahana & Ergene, 2011).

NOR (Nucleolar Organizer Regions) polimorfizmi veya varyasyonu olarak adlandırılan kromozomlarda NOR sayısı ve boyutlarında değişimleri birçok balık türünde tespiti mümkün olmuştur. Ordolar, familyalar, cinsler ve türler arasında hatta tür içi NOR varyasyonu görülmektedir (Saygun, 2005). NOR bantları, muhtemelen interfazın başlangıcında aktif olarak transkribe edilmiş olan 18S ve 28S ribozomal RNA'nın (rRNA) kromozomal bölgelerini temsil eder (Howell, 1977, 1982). Gümüş boyama reaksiyonu, gümüş iyonlarını azaltan ve seçici olarak bağlayan, NOR ile ilişkili histon olmayan bir protein için özelleşmiştir (Sharma, vd., 2002). NOR'ların karyotip ve NOR fenotiplerindeki konumlarının sitotaksonomide yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Çoğu balık türü tek bir NOR taşırken, birden fazla NOR'a sahip türler de vardır (Karasu Ayata, vd., 2016b). Türkiye'de yapılan çalışmalarda balıklarda NOR'ların bulunduğu bölgelere ve sayılarına göre polimorfizmin olduğu ve bununla birlikte kimi submetasentrik, kimi subtelo-akrosentrik, kimisinde de metasentrik kromozomların kısa kolunda ve uç durumlu olduğu görülmüştür. Türkiye'deki tüm NOR sonuçları Howell & Black (1980) tarafından tanımlanan yöntemle tespit edilmiştir. Bu sonuçların bazıları türlere göre kısaca şöyledir:

Uç durumlu ve kısa kolda NOR taşıyan kromozomlu türler: *Liza abu* (Değer, vd., 2013), *Aphanius anatoliae*, *A. danfordii*, *A. splendens* ve *A. villwocki* (Gaffaroğlu, vd., 2014b).

Bir kromozom çiftinde kısa kolunda (p) NOR bulunan (homomorfik) türler: *Cyprinus carpio* (Pekol 1999, 2003), *Tinca tinca* (Arslan & Takı, 2012), *S. cephalus* (Pekol & Arslan, 2014), *Pseudophoxinus crassus*, *P. hittitorum* (Ünal, vd., 2014), *Chondrostoma beysehirense* (Arslan & Gündoğdu, 2016), *Seminemacheilus lendlii* (Gaffaroğlu, vd., 2015; Ünal, vd., 2016a), *P. burduricus*, *P. egridiri* ve *P. fahrettini* (Karasu Ayata, vd., 2016a), *Pseudophoxinus zekayi*, *L. pectoralis*, *P. zekayi*, *S. seyhanensis*, *A. adanensis* ve *C. carpio* (Ünal & Gaffaroğlu, 2016), *Cobitis phrygica*, *C. simplicispina* (Karasu Ayata, vd., 2018a), *Oxynoemacheilus atili* (Karasu Ayata, vd., 2018b), *Alburnus nasreddini*

(Alpaslan, 2020), *S. carinus*, *S. fellowesii* (Karasu Ayata, 2020b).

İki çift kromozomda ve heteromorf NOR taşıyan kromozomlu türler: *Chalcalburnus mossulensis* (Yüksel & Gaffaroğlu, 2008b), *Pseudophoxinus firati* (Karasu, vd., 2011), *Aphanius anatoliae*, *A. danfordii*, *A. splendens* ve *A. villwocki* (Gaffaroğlu, vd., 2014b), *Squalius recurvirostris* (Doori, 2019), *Luciobarbus kottelati* (Karasu Ayata & Gaffaroğlu, 2019).

Birden fazla kromozom çiftinde ve heteromorfik uç durumlu NOR'lu kromozomu olan türler: *Cyprinus carpio* (Pekol, 2006), *Cyprinion macrostomus* (Yüksel & Gaffaroğlu, 2006), *Garra variabilis* (Karahan & Ergene, 2010), *Upeneus mollusensis* (Karahan, 2016), *P. battalgilae*, *P. evliyaee* and *P. maeandri* (Karasu Ayata, vd., 2016a), *Capoeta damascina* (Ünal & Gaffaroğlu, 2016).

Esox lucius'da aktif NOR, üçüncü kromozom çiftinin perisentromerik bölgesinde yer aldığı ve C-heterokromatin ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Arslan & Alpaslan, 2020).

AgNOR bantlamanın çoğunlukla C-bantlama ile yapıldığı çalışmaların yanı sıra Türkiye'de ilk defa endemik balık türlerinden *Pseudophoxinus* cinsine ait türlerin kromozomları CMA3 floresans boyama ile GC-nükleotid ile zengin DNA bölgelerini tespit edilmiştir (Karasu Ayata, 2020a). CMA3+ bölgelerin türlere göre dağılımını ise *Pseudohoxinus elizavetae*, 7. ve 9., *P. firati*, 9. ve 13., *P. hittitorum*, 5. kromozomda tespit edilirken, DAPI+ bölgelere rastlanmadığı da bildirilmiştir.

GTG, Giemsa kullanılarak tripsin tarafından üretilen G bantları anlamına gelir. Proteolitik enzim tripsin ile muamelesinin ardından Giemsa boyaması, her bir kromozom için karakteristik olan tüm kromozom boyunca bir koyu (Giemsa pozitif) ve açık (Giemsa negatif) bant modeli oluşturur (Seabright 1971; Drets & Shaw, 1971). G-bandı, translokasyonlar gibi kromozomal anormallikleri tanımlamak için kullanılabilir çünkü her kromozom için benzersiz bir açık ve koyu bant modeli vardır (Ergene, Karahan, & Kuru, 2010). Türkiye'de bazı çalışmalarda G-bantlama, Q-bantlama metodu ile birlikte uygulanmıştır (Karahan & Ergene, 2010, 2011; Ergene, vd., 2010). Kromozomlarına G bantlama uygulanan türler: *Chalcalburnus tarichi* (Gül, vd., 2003), *Garra rufa* (Karahan & Ergene, 2009), *Pseudophoxinus antalyae* (Ergene, vd., 2010), *Clarias gariepinus* (Karahan & Ergene, 2011), *Upeneus mollusensis* (Karahan, 2016). Karahan ve Ergene (2009) tarafından yapılan çalışmada *Garra rufa* Seyhan nehir sistemindeki izole popülasyonlarında G-bantlama vasıtasıyla heteromorfik cinsiyet kromozom sistemi (XY) tespit edilmiştir.

Restriksiyon endonükleaz (RE) bantlama tekniği, özellikle geleneksel bantlama yöntemleri kullanılarak kolayca bantlanmayan balıkların kromozomlarında kullanılabilir (Sánchez, vd., 1991). Balıklarda RE bantlama sonuçlarının kromozom sınıflandırması ve heterokromatin farklılaşmasında net ilerleme sağladığını belirtilmektedir. Cau, vd. (1992)'nin bildirdiğine göre, restriksiyon enzimleri, spesifik DNA baz dizisi hedeflerine yapışma yeteneğine sahiptir ve balıklar da dahil olmak üzere birçok türde spesifik kromozom bantları üretmek için yaygın olarak kullanılır.

Türkiye'de RE- bantlama tekniğini ilk defa kullanan Gül, vd. (2003) tarafından *Chalcalburnus tarichi*'de *HinfI*, *MboI* ve *NheI* enzimlerinin G-bant ürettiği tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerde *HaeIII* enziminin belirgin G bant örnekleri verdiği saptanmıştır. *AluI* enziminin C bant verdiği belirlenmiştir. *Acanthobrama* (syn. *Acanthalburnus*) *microlepis* kromozomlarında AG/CT DNA baz dizisine yapışan ve tanımlayan *AluI*, GG/CC baz dizisine bağlanan ve tanımlayan *HaeIII*, G/ANTC'ye özgü *HinfI*, G/CTAGC'ye özel *NheI* enzimleri ve /GATC DNA baz dizisine özel bağlanan *MboI* enzimlerinin G-bant ürettiği bildirilmiştir (Nur, vd., 2008).

Karyotipleme ve Ideogram İşlemi

Karyotip çıkarma bir dizi işlem gerektirir. Metafaz hücreleri hipotonize edilir, fikse edilir ve bir mikroskop lamı üzerine yayıldıktan sonra boyanır. Mikroskopta iyi kromozom sitelerinin (çok belirgin veya üst üste binmeyen) belirlenerek mikroskopa bağlı dijital bir fotoğrafı çekilir. Bu dijital fotoğrafı çekilen iyi durumda olan kromozom sitesindeki her bir kromozomun görüntülerinin bir kâğıda printer (yazıcı) ile yazdırdıktan sonra keserek boylarına göre düzenlemek bir karyotipleme klasiği olmuştur. Son yıllarda bu tekniğe alternatif olarak, bir bilgisayar programı kullanarak kromozom plağının dijital görüntüsünden boyları mikrometrik olarak ölçüldükten sonra kesilip, sentromerlerine bağlı olarak boylarına göre homolog kromozomlar yan yana gelecek şekilde yapılandırılabilir veya bu dijital resimdeki kromozom plağı görüntüsü bir yazılımla otomatik olarak düzenlenebilmektedir. Kromozomların ölçülmesinde, karyotipin ve ideogramın hazırlanmasında lisanslı ve lisanssız görüntü analiz programları kullanılmaktadır. Lisanslı olanlardan bazıları; Image Pro Plus (Media Cybernetics; ABD), AKAS (Argenit Microsystems, İstanbul, Türkiye) vd.; lisanssız veya ücretsiz olanlar: MicroMeasure, E-Ruler, IdeoKar, ImageJ, KaryoF, Nucktype, Drawid vd. Türkiye'deki sitogenetik çalışmalarında 2000 yılına kadar fotoğrafları

çekilen kromozom sitelerinin Adobe Photoshop, Corel Draw gibi resim programları kullanılarak yapılan kromozom boy ölçümleri el ile yapılmaktaydı. Günümüzde bazı sitogenetik çalışmalarda ise karyotipleme AKAS (Ünal & Gaffaroğlu, 2016; Ünal, vd. 2014; Karasu Ayata, vd., 2016a) gibi lisanslı bir resim analiz programı ile ve lisanssız MicroMeasure (Karahana & Ergene, 2009; Karahana, 2016; Saygun & Saygun, 2016; Saygun, vd. 2018) programı ile otomatik olarak yapılmıştır. Ayrıca bu programlarla C-bantlı ve NOR-bantlı kromozomlar bilgisayar üzerinden daha kolay ayırt edilebilmekte ve karyotiplerde kolaylıkla gösterilebilmektedir.

Sitogenetik Durum

Kromozom Sayıları Değişimi

1890'da Rus bilim insanı Kastschenko iki köpek balığı ve vatoz türünün ilk haploit kromozom sayılarının $n = 30-50$ ve yine aynı yıl Retzius (1890) tarafından bir Mixinid türü olan *Myxine glutinosa*'nın diploit kromozom sayısının $2n = 50$ olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda bu iki araştırma balık kromozomlarında yapılan ilk çalışmalardandır. Omurgasızların kromozomları (Harvey, 1916) ve hayvan kromozom listesi (Bresslau, 1927) ilk defa yayınlanmasının ardından yayınlanan omurgalıların kromozom listesinde 18 balık türünün kromozom sayısı belirtilmiş ve 5 yıl sonra yenilenen ikinci listede bu sayı iki kat artarak 39'a çıktığı bildirilmiştir (Oguma & Makino, 1932, 1937). 1970'lerde çalışmalar daha da hızlanarak sadece 1973 yılında 481 türün kromozom yapıları belirlenirken, 1985 yılında yaklaşık bunun üç katı oranda 1318 balık türünde sitotaksonomik çalışma yapıldığı, toplam da ise bu sayı 2011 yılına kadar 3425'e ulaştığı bildirilmiştir (Arai, 2011). Oysaki o zamana kadar dünyada tespit edilen tür sayısı 27977'di ve buna göre kromozom bilgisine sahip olduğumuz tür sayısı oranı yaklaşık %12'lerden (Arai, 2011), günümüze kadar en son raporlara göre var olan 35768 tür (Fricke, vd., 2021) içerisinde yaklaşık %15-20'sinin kromozomları belirlendiği söylenebilir.

Türkiye'de son yıllarda yapılan taksonomik çalışmalarla (Özuluğ, vd., 2018; Saç, vd., 2019a, 2019b; Çiçek, 2020) balık türü sayıları artmakla birlikte; denizlerde balık türü sayısının da 512 olduğu (Bilecenoğlu, vd., 2014) ve iç sularda ise 20 takım, 34 familyaya ait toplam 391 balık türü olduğu belirtilmiştir (Çiçek, vd., 2020; Saygun, 2021). Bu belirtilen türler içerisinde Türkiye'de balık kromozomları üzerine yapılan ilk çalışmadan otuz beş yıl geçmiş olmakla birlikte, bugüne kadar yapılmış yüzün üzerinde araştırmada doğal olmayan türler dahil 17

takımda 25 familyaya (Tablo 2) ait olan yaklaşık 103 tür ve alttürün diploit kromozom sayıları ($2n$) ve karyotipleri belirlenmiştir (Tablo 3). Bunlar sırasıyla Anguilliformes (1sp), Clupeiformes (1sp) Cypriniformes (69 sp/spp), Siluriformes (4sp), Esociformes (2sp), Salmoniformes (4sp/spp) Gadiformes (1sp), Scombriformes (1sp), Gobiiformes (1sp), Synbranchiformes (2sp), Carangiformes (3sp/spp), Cichliformes (4sp), Atheriniformes (1sp), Cyprinodontiformes (4sp), Mugiliformes (2sp), Blenniiformes (1sp) ve Perciformes (2 sp). İncelenen çalışmalarda Türkiye tatlı sularında var olan 208 endemik tür (Çiçek, vd., 2020) içerisinde 38 türün de ilk defa kromozomları tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 80 tatlı su ve 9 tuzlu su türünün karyotipi çıkarılmıştır (Tablo 2). Bu sonuçlara göre, Türkiye'de iç sularda ve denizlerdeki toplam balık sayısının (903) yaklaşık %11'inin kromozom yapıları belirlenmiştir.

Kromozom sayılarına bakıldığında, Türkiye'de en çok türün olduğu ve buna bağlı olarak da en fazla kromozomu tespit edilen Cypriniformes takımına ait Cobitidae, Nemacheilidae ve Leuciscidae familyalarındaki türlerin $2n$ diploid sayıları 50'dir. Bu takımın en geniş ailesi Cyprinidae de yer alan *Tinca*, *Chondrostoma*, *Cyprinion*, *Chalcalburnus*, *Garra*, *Acanthobrama* ve *Pseudophoxinus* genuslarındaki 45 türün $2n = 44-50$ arasında kromozoma sahip olduğu görülmüştür. Cyprinidae'nin Barbinae altfamilyasından *Barbus* ve *Capoeta* genuslarında ise $2n$ sayıları 120 ile 150 arasında değişmektedir (Tablo 3). Cyprinidlere özgü olarak bu yüksek sayıdaki kromozom sayılarında olmalarının nedeni olarak bu türlerin yapısal kromozom mutasyonları ile tetraploidi geçirdiği ve kromozomal evrimini henüz tamamlayamadığı ileri sürülmektedir (Thorgaard, 1978, 1993; Anjum & Jankun, 1994). Bu şekilde olan canlıların primitif oldukları ve evrilmeye devam edecek olduklarını göstermektedir (Saygun, 2005). En bariz örnek olarak Acipenceriformes takımında $2n$ sayısının 175 ile 372 arasında değiştiği bunun nedeni olan polipoidiye ($4n$ ve $6n$) bağlı olarak bu türlerin evrimini tamamlayamamış ilkel balık türlerinden olduğu kaydedilmiştir (Fontana, vd., 2007; Arai, 2011). Kromozom sayısı farklılığının türler arası ve hatta tür içi farklılaşmasının görüldüğü başka bir balık grubu olan Salmoniformes türlerinin bazılarında kromozom sayısı değişimine poliploidi mekanizmasının neden olduğu belirtilmiştir (Allendorf & Thorgaard, 1984)

Karyotip ve Kromozom Yapılarında Değişimler

Balıklarda kromozom tipi ve sayısındaki başlıca değişimler muhtemelen tetraploidi ($4n$) ve kromozom segmentlerinin

Tablo 2: Türkiye deniz ve tatlı sularında bulunan sitotaksonomik olarak çalışılmış balık gruplarına göre kromozom sayıları ve karyotipleri belirlenmiş doğal/doğal olmayan balık tür sayıları. (2n: Diploit kromozom sayısı belirlenmiş tür sayısı, K: Karyotipi çıkarılan tür sayısı, T_t : Tatlı sularda yaşayan tür sayısı (Çiçek, vd., 2020; Saygun, 2021), T_d : Türkiye denizlerinde yaşayan tür sayısı (Bilecenoğlu vd., 2014)).

Tatlı su türleri	2n	K	T_t	Tuzlu su türleri	2n	K	T_d
Cypriniformes				Anguilliformes			
Cobitidae	3	3	28	Anguillidae	1	-	1
Nemacheilidae	9	8	49	Clupeiformes			
Cyprinidae	46	42	59	Clupeidae	1	-	12
Leuciscidae	11	11	122	Salmoniformes			
Siluriformes				Salmonidae	1	1	1
Bagridae	1	1	1	Gadiformes			
Siluridae	1	1	2	Gadidae	1	-	4
Clariidae	2	2	1	Scombriformes			
Esociformes				Pomatomidae	1	-	1
Esocidae	1	1	1	Gobiiformes			
Umbridae	1	-	-	Gobiidae	1	1	42
Salmoniformes				Carangiformes			
Salmonidae	3	3	18	Scophthalmidae	1	1	5
Synbranchiformes				Pleuronectidae	1	1	1
Mastacembelidae	2	2	1	Soleidae	1	1	11
Cichliformes				Atheriniformes			
Cichlidae	4	2	4	Atherinidae	1	-	3
Cyprinodontiformes				Mugiliformes			
Aphanidae	4	4	21	Mugilidae	2	2	8
Blenniiformes				Perciformes			
Blennidae	1	-	2	Mullidae	2	2	5
Toplam	89	80	309		14	9	94

seri bir şekilde duplikasyonlarıyla meydana gelir. Başlıca değişimler en çok prokordatlar ve pirimitif balıklar arasında olan Actinopterygii (Işınsal Yüzgeçliler) türleri ve tetrapotlar arasında daha fazla belirgindir. Karyotipin evrilmesi ve yeni bir türün oluşması çoğunlukla kromozom düzenlemeleri ile olur. Bu düzenlemeler, döllenmeden sonra hücre bölünmesi esnasında kromozomlarında bulunan DNA'nın tekrar paketlenmesi ile doğan canlının soyunu kontrol eden etkili üreme engellerini yönetebilir (Saygun, vd., 2003). Mayozun interfaz-profazı esnasında meydana gelen kromozom düzenlemeleri, geç profaz ve metafaz I esnasında tespit edilebilir. Balıklarda oluşan en dikkate değer kromozom anomalisi translokasyondur. Bu türlü hasarda 2 kırık vardır ve 2 homolog olmayan kromozom arasında oluşan parça değişimleridir. Böyle değişmelere karşılıklı translokasyonlar denir ve 4 değerli çaprazlama konfigürasyonu olarak mitozda sinapsis esnasında tespit edilebilir. Gametlerin %50'si canlılıklarını kaybetse bile, translokasyonlar gen havuzlarının karışmasını güvenlik altına alması ve yeni türlerin doğmasında inversiyonlar kadar etkili değildir. Balıklarda en yaygın translokasyon metasentrik bir kromozomun oluşmasıyla birlikte iki homolog olmayan kromozomun sentromerlerini eritip

birleştiren Robertson tipidir. Metasentrik kromozomlar akrosentrik kromozomlardan oluşabilir. Bunun tersi olarak da bir metasentriğin sentromeri zayıfsa, o zaman daha küçük iki akrosentrik üretmek için ayrılabilir. Robertson füzyonları ve inversiyonların birlikte olduğu düşünüldüğünde sayısız düzenleme kombinasyonlarının olması mümkündür. Ör. 100 akrosentrik kromozomlu bir organizma 50 metasentrik kromozom üretmek için 50 inversiyon geçirebilir. Bu tip mekanizmayla birlikte bu transformasyonları tespit etmek için yapılması gereken şey meydana geldiği düşünülen karyotipteki tüm kromozomların kol uzunluklarının ölçülmesidir. Sentrik fizyonlar kromozomal parçalanmalar veya ayrılmalardan daha yaygın olur. Ayrılmalar ters yönde meydana gelirken, ilkel olmayan özelleşmiş formların gelişiminde ise sentrik fizyonların baskın olduğu görülmektedir (Saygun, vd., 2003; Saygun & Ataç, 2010).

Bu değişimler doğada tesadüfi olarak meydana geldiğinden ötürüdür ki türler arası ve hatta tür içi farklı karyotiplerin (sitotip) oluşması normaldir. Türkiye'de yapılan bazı çalışmalarda aynı türe ait farklı sitotipleri olduğu belirlenmiştir. Bunlara örnek olarak, *Garra* populasyonlarında cinsiyete ve coğrafik konumlarına

Tablo 3: Türkiye’de balıklar üzerine yapılmış olan sitogenetik çalışmaların sonuçları (m: metasentrik, sm: submetasentrik, st: subtelosentrik, t: telosentrik, a: akrosentrik kromozom, st-a: subtelo-akrosentrik kromozom, m-sm: meta-submetasentrik kromozom, C-: C-bantlama, AgNOR: AgNO₃ bantlama, GTG-Tripsin-Giemsas bantlama, G-: Giemsa bantlama, Q-bantlama, RE-: Restriksiyon endonükleaz bantlama, CMA- Kromomisin A₃, boyama, DAPI- 4',6-diamidino-2-phenylindole boyama).

Species ¹	2n	NF	Karyotip	Bantlama	Referanslar
Anguilliformes					
Anguillidae					
<i>Anguilla anguilla</i>	38	-	-	-	Turan, vd. (2004)
Clupeiformes					
Clupeidae					
<i>Alosa fallax nilotica</i>	48	-	-	-	Vicdanlı (2007)
Cypriniformes					
Cobitidae					
<i>Cobitis elazigensis</i>	50	68	18m-sm+32a	-	Değer (2011)
<i>C. phrygica</i>	50	66	8m+8sm+34st-a	C-, AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2018a) ²
<i>C. simplicispina</i>	50	82	16m+16sm+18st-a	C-, AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2018a) ²
Nemacheilidae					
<i>Turcinoemacheilus kosswigi</i>	50	74	8m+16sm+16a	-	Değer, vd. (2012)
<i>T. kosswigi</i>	50	72	8m+14sm-st+28a	C-	Gaffaroğlu, vd. (2012) ²
<i>Oxynoemacheilus sp.</i>	50	80	60m-sm-20a	-	Değer (2011)
<i>O. argyrogramma</i>	50	94	44m-sm+6a	-	Değer (2011)
<i>O. frenatus</i>	50	82	32m-sm+18a	-	Değer (2011)
<i>O. angorae</i>	50	86	8m+28sm+14st-a	C-	Gaffaroğlu, vd. (2014c) ²
<i>O. angorae</i>	50	78	14m+14sm+22a	-	Kaya, vd. (2005) Kaya (2007)
<i>O. atili</i>	-	-	-	-	Karasu Ayata, vd. (2018b) ²
<i>Orthrias panthera</i> ¹	50	82	14m+18sm+18a	-	Tanrikulu (2008)
<i>O. tigris</i> ¹	50	86	18m+18sm+14a	-	Kılıç (2006) Kılıç, vd. (2011)
<i>Seminemacheilus lendlii</i>	50	76	26m-sm+24st-a	C-, AgNOR	Gaffaroğlu, vd. (2015)
<i>S. lendlii</i>	50	86	16m+20sm+14st	C-, AgNOR	Ünal, vd. (2016a)
Cyprinidae					
<i>Tinca tinca</i>	48	60	12m+16st+20a	-	Hamalosmanoğlu & Kuru (2004)
<i>T. tinca</i>	48	80	12m+20sm+8st	C-, AgNOR	Takı (2011) ² Arslan & Takı (2012) ²
<i>T. tinca</i>	48	-	12m+16sm+20a	-	Hamaosmanoğlu (1997)
<i>Chondrostoma beysehirense</i>	50	92	10m+32sm-st+4a	C-, AgNOR	Arslan & Gündoğdu (2016) ²
<i>C. beysehirense</i>	50	92	10m+32sm-st+4a	C-, AgNOR	Gündoğdu (2016) ²
<i>C. regium</i>	50	86	22m+8sm+6st+14a	C-AgNOR	Kaya (2009)
<i>C. meandrense</i>	52	82	18m+6sm+6st+22a	-	Uysal (2011)
<i>Cyprinion macrostomum</i>	48	78	4m+26sm+18a	-	Çolak, vd. (1985)
<i>C. macrostomus</i>	50	-	6m+26sm+18st-a	-	Kılıç Demirok (2000)
<i>C. macrostomus</i>	50	92	6m+24sm+12st+8a	-	Gaffaroğlu & Yüksel (2004) ²
<i>C. macrostomus</i>	50	92	-	AgNOR	Gaffaroğlu (2003) ²
<i>C. macrostomus</i>	50	92	6m+24sm+12st+8a	Ag-NOR	Gaffaroğlu & Yüksel (2006) ²
<i>C. macrostomus</i>	50	92	6m+24sm+12st+8a	Ag-NOR	Yüksel & Gaffaroğlu (2008a)
<i>C. macrostomus</i>	50	80	6m+24sm+20st-a	C-	Gaffaroğlu & Yüksel (2009) ²
<i>Chalcalburnus mossulensis</i>	48	80	12m+20sm+16a	-	Gül, vd. (2000)
<i>C. mossulensis</i>	50	78	12m+16sm+10st+12a	-	Gaffaroğlu & Yüksel (2005) ²
<i>C. mossulensis</i>	50	88	-	AgNOR	Gaffaroğlu (2003) ²

<i>C. mossulensis</i>	50	88	12m+16sm+10st+12a	Ag-NOR	Yüksel & Gaffaroğlu (2008b) ²
<i>C. mossulensis</i>	50	92	16m+20sm+6st+8t	-	Şişman, vd. (2016)
<i>C. tarichi</i>	50		16m+10sm+24a	C-, G-, RE-	Gül, vd. (2003)
<i>Garra rufa</i>	44	85	22m+20sm+2a	-	Ergene & Çavaş (2004)
<i>G. rufa</i>	50	94	26m+10sm+8st+6a	G-, C-, AgNOR,	Karahan & Ergene (2009) Karahan (2007)
	50	94	28M+14sm+4st+4a		
	46	88	22m+12sm+8st+4a (♀)		
	46	87	22m+12sm+7st+5a (♂)		
	46	90	32m+6sm+6st+2a (♀)		
<i>G. r. obtusa</i> ^{II}	44	-	16m+26sm+1m+1a	-	Kılıç Demirok (2000)
<i>G. variabilis</i>	102	186	42m+18sm+24st+18a♀	G-, C-, AgNOR, Q-	Karahan & Ergene (2010)
		185	41m+18sm+24t+19a♂		
<i>G. variabilis</i>	74	-	26m+24sm+22sta+1m+1a	-	Kılıç Demirok (2000)
<i>Pseudorasbora parva</i>	50	100	14m+20sm+16st	-	Gaffaroğlu, vd. (2009) ²
<i>P. parva</i>	-	-	-	C-	Gaffaroğlu, vd. (2016a) ²
<i>P. parva</i>	-	-	-	AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2016b)
<i>Acanthobrama marmid</i>	50	92	16m+26sm+8st-a	AgNOR	Gaffaroğlu, vd. (2006) ²
<i>A. marmid</i>	50	94	-	AgNOR	Gaffaroğlu (2003) ²
<i>A. marmid</i>	50	92	16m+24sm+8st-a-	C-	Gaffaroğlu & Yüksel (2009) ²
<i>A. marmid</i>	50	82	20m+12sm+18a	C-, AgNOR	Kaya (2009)
<i>A. mirabilis</i>	50	76	10m+6sm+10st+24a	-	Uysal (2011)
<i>Acanthalburnus microlepis</i> ^{III}	50	80	16m+14sm+20a	C-, G-, RE-	Nur, vd. (2008) Nur (2006)
<i>Cyprinus carpio</i>	100	152-	22m+30sm+18st-a	Ag-NOR	Pekol (1999a) Pekol (1999b)
		150	20m+30sm+50st-a		
<i>C. carpio</i>	100	-	-	-	Pekol (1999c)
<i>C. carpio</i>	100	150	12m+38sm+50a	-	Hamalosmanoğlu & Kuru (2003), Hamalosmanoğlu (1997)
<i>C. carpio</i>	100	152	22m+30sm+48st-a	AgNOR	Pekol (2003)
<i>C. carpio</i>	100	-	-	AgNOR	Pekol (2006)
<i>C. carpio</i>	100	148	30m+18sm+52st-a	C-, AgNOR	Ünal (2015) ² Ünal & Gaffaroğlu (2016) ²
<i>Pseudophoxinus antalyae</i>	50	92	16m+14sm+12st+8a	C-, G-, Q- AgNOR	Ergene, vd. (2010)
<i>P. firati</i>	50	88	38m-sm+12st	C-, AgNOR	Karasu, vd. (2011) ² , Karasu (2009)
<i>P. firati</i>	50	88	38m-sm+12st	CMA ₃ , DAPI	Karasu Ayata (2020) ²
<i>P. battalgilae</i>	50	94	16m+28sm+6st-a	C-, AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2016a) ² Karasu Ayata (2015)
<i>P. battalgilae</i>	-	-	-	AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2019) ²
<i>P. egridiri</i>	50	92	14m+28sm+8st-a	C-, AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2016a) ² Karasu Ayata (2015)
<i>P. egridiri</i>	-	-	-	AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2019) ²
<i>P. burduricus</i>	50	94	18m+26sm+6st-a	C-, AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2016a) ² Karasu Ayata (2015)
<i>P. burduricus</i>	-	-	-	AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2019) ²
<i>P. evliyaee</i>	50	94	14m+30sm+6st-a	C-, AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2016a) ² Karasu Ayata (2015)
<i>P. evliyaee</i>	-	-	-	AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2019) ²
<i>P. fahrettini</i>	50	92	16m+26sm+8st-a	C-, AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2016a) ² Karasu Ayata (2015)
<i>P. fahrettini</i>	-	-	-	AGNOR	Karasu Ayata vd. (2019) ²

<i>P. maeandri</i>	50	92	10m+32sm +8st -a	C-, AgNOR	Karasu Ayata, vd. (2016a) ² Karasu Ayata (2015)
<i>P. crassus</i>	50	92	12m+30sm+8st-a	C-, AgNOR	Ünal, vd. (2014) ²
<i>P. hittitorum</i>	50	90	14m+26sm+10st-a	C-, AgNOR	Ünal, vd. (2014) ²
<i>P. hittitorum</i>	50	90	14m+26sm+10st-a	CMA ₃ , DAPI	Karasu Ayata (2020a) ²
<i>P. zekayi</i>	50	92	16m+26sm +8st -a	C-, AgNOR	Ünal (2015) ² Ünal & Gaffaroğlu (2016) ²
<i>P. elizavetae</i>	50	92	8m+34sm +8st	-	Gaffaroğlu, vd. (2014d)
<i>P. elizavetae</i>	50	92	8m+34sm +8st	CMA ₃ , DAPI	Karasu Ayata (2020a) ²
<i>Capoeta antalyensis</i>	150	234	84m-sm+66st-a	-	Karasu Ayata, vd. (2017) ²
<i>C. baliki</i>	150	238	88m-sm+62st-a	-	Karasu Ayata, vd. (2017) ²
<i>C. trutta</i>	150	220	70m-sm+80st-a	-	Kılıç Demirok & Ünlü (2001) Kılıç Demirok (2000)
<i>C. capoeta umbla</i>	150	236	86m-sm+64st-a	-	Kılıç Demirok & Ünlü (2001) Kılıç Demirok (2000)
<i>C. c. umbla</i>	144	260	44m+72sm+28st	-	Gül (1988)
<i>C. barroisi</i>	-	-	-	-	Kaya, vd. (2004)
<i>C. damascina</i>	150	238	46m+42sm+62st-a	C-, AgNOR	Ünal (2015) ² Ünal & Gaffaroğlu (2016) ²
<i>Carassius auratus</i>	104	162	24m+34sm+46a	-	Ölmez Aydın & Kuru (2001) Ölmez (1997)
<i>Barbus rajanorum</i>	125	-	-	-	Turan, vd. (2005)
<i>B. r. mystaceus</i> ^{IV}	100	-	22m+30sm+48st-a	-	Kılıç Demirok (2000)
<i>B. longiceps</i>	148	-	-	-	Turan, vd. (2005)
<i>B. capito</i>	120	194	32m+42sm+8st+38a	C-, AgNOR	Kaya (2009)
<i>B. capito pectoralis</i> ^V	150	-	-	-	Turan, vd. (2005)
<i>B. plebejus lacerta</i>	48	80	32m+16a	-	Ergene, vd. (1998a)
<i>B. tauricus</i>	100	130	6m+24sm+38st+32a	-	Ataç Şahin (2015) Saygun, vd. (2018)
<i>Carasobarbus luteus</i>	150	238	34m+54sm+14st+48a	C-, AgNOR	Kaya (2009)
<i>C. luteus</i>	150	234	84m-sm+66st-a	-	Değer, vd. (2011a)
<i>Luciobarbus escherichii</i>	100	158	14m+22sm+42st-a	C-, AgNOR	Gaffaroğlu, vd. (2013)
<i>L. pectoralis</i>	100	162	20m+42sm+38st-a	C-, AgNOR	Ünal (2015) ² Ünal & Gaffaroğlu (2016) ²
<i>L. kottelati</i>	100	152	18m+34sm+48st-a	C-, AgNOR	Karasu Ayata & Gaffaroğlu (2019) ²
<i>Kosswigobarbus kosswigi</i> ^{VI}	148	234	46m-sm+62st-a	-	Değer, vd. (2011b)
Leuciscidae					
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	50	88	16m+22sm+12st-a	-	Kılıç Demirok & Ünlü (2004) Kılıç Demirok (2000)
<i>A. bipunctatus</i>	50	90	14m+26sm+10a	C-, AgNOR	Gaffaroğlu, vd. (2014a) ²
<i>Squalius cephalus</i>	50	92	10m+22sm+10st+8a	-	Kılıç & Şişman (2016)
<i>S. cephalus</i>	-	-	-	Ag-NOR	Pekol & Arslan (2014)
<i>Leusciscus c. orientalis</i> ^{VII}	50	-	14m+20sm+16sta	-	Kılıç Demirok (2000)
<i>L. cephalus</i> ^{VII}	50	80-82	18m+12sm+20st-a 20m+12sm+18st-a	Ag-NOR	Pekol (1999a)
<i>S. anatolicus</i>	50	82	10m+22sm+10st+8a	C-, AgNOR	Ünal (2011)
<i>S. seyhanensis</i>	50	94	16m+28sm+6st-a	C-, AgNOR	Ünal (2015) ² Ünal & Gaffaroğlu (2016) ²
<i>S. carinus</i>	50	94	24m+20sm+6sta	C-, AgNOR	Karasu Ayata (2020b)
<i>S. fellowesii</i>	50	90	20m+20sm+10st-a	C-, AgNOR	Karasu Ayata (2020b)
<i>S. recurvirostris</i>	50	90	12m+18sm+10st+8a	C-, AgNOR	Doori (2019)
<i>Alburnus heckeli</i>	50	82	14m+18sm+18a	-	Gül, vd. (2004)
<i>A. filippii</i>	50	82	16m+16sm+18a	-	Gül, vd. (2006)

<i>A. filippi</i>	50	82	16m+16sm+18a	-	Nur (2006)
<i>A. adanensis</i>	50	90	12m+28sm+10st-a	C-, AgNOR	Ünal (2015) ² Ünal & Gaffaroğlu (2016) ²
<i>A. nasreddini</i>	50	86	12m+24sm+14a	C-, AgNOR	Alpaslan (2020)
Siluriformes					
Siluridae					
<i>Silurus glanis</i>	58	110	26m+26sm+6a	-	Aydın (2005)
<i>S. glanis</i>	58	-	-	-	Ölmez (1997)
Clariidae					
<i>Clarias lazera</i>	56	100	18m+26sm+12a	-	Ergene, vd. (1999)
<i>C. gariepinus</i>	56	100	24m+10sm+10st+12a 28m+6sm+10st+12a	C-, AgNOR, G-, Q-	Karahan & Ergene (2011)
Bagridae					
<i>Mystus halepensis</i>	32	45	12m-sm+1sm+18st-a+1a	-	Değer (2006)
Esociformes					
Esocidae					
<i>Esox lucius</i>	50	50	50a	C-, AgNOR	Arslan & Alpaslan (2020) ²
Umbridae					
<i>Umbra limi</i>	22	-	-	-	Ulupınar & Okumuş (2002a)
Salmoniformes					
Salmonidae					
<i>Salmo trutta labrax</i> ^{VIII}	80	102	16m+6sm+4st+54a	C-, AgNOR	Alemdağ (2017) ²
<i>S.t. caspius</i> ^{VIII}	80	98	14m+4sm+4st+58a	C-, AgNOR	Alemdağ (2017) ²
<i>S.t. abanticus</i> ^{VIII}	80	100	14m+6sm+6st+54a	C-, AgNOR	Alemdağ (2017) ²
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	60	104	44m-sm+2st+14a	-	Tüfek (1993)
<i>O. mykiss</i>	58	-	-	-	Ulupınar & Okumuş (1997)
<i>O. mykiss</i>	60		28m+16sm+14a+XX-st (♀)		Ulupınar & Okumuş (2002b)
	61	104	24m+17sm+2st+18a (♂)	-	
	62		28m+16sm+18a+XX-st (♀)		
<i>O. mykiss</i>	58	-	-	-	Örs (2003)
<i>O. mykiss</i>	-	-	-	-	Bilgin (2004)
<i>O. mykiss</i>	56	-	-	-	Kenanoğlu (2012) Kenanoğlu, vd. (2013)
	-	-	-	-	Örs (2001)
<i>O. mykiss</i>	-	-	-	-	Yıldırım (2015)
Gadiformes					
Gadidae					
<i>Merlangius merlangus euxinus</i>	65	-	-	-	Vicdanlı (2007)
Scombriformes					
Pomatomidae					
<i>Pomatomus saltator</i>	48	-	-	-	Vicdanlı (2007)
Gobiiformes					
Gobiidae					
<i>Gobius paganellus</i>	44	45	1m+43a	-	Ergene Gözükara & Çavaş (2002)
Synbranchiformes					
Mastacembelidae					
<i>Mastacembelus simack</i>	48	64	16-m-sm+32st-a	-	Değer (2006)
<i>M. mastecembelus</i>	48	64	16m-sm+32st-a	-	Değer, vd. (2010)
Carangiformes					
Pleuronectidae					
<i>Platichthys flesus luscus</i>	48	48	48a	-	Saygun & Bircan (2015)
Soleidae					
<i>Pegusa lascaris</i>	42	-	-	-	Vicdanlı (2007)
<i>P. lascaris</i>	42	56	6m+8sm+12st+16a	-	Saygun & Saygun (2016)

Scophthalmidae					
<i>Scophthalmus maeoticus</i> ^{IX}	44	48	4m+14st+26a	-	Saygun (2018)
Cichliformes					
Cichlidae					
<i>Tilapia zilli</i> ^X	44	48	8sm+8st+24a	-	Ergene & Çavaş (1999)
<i>T. rendalli</i> ^X	-	-	-	-	Ergene & Karahan (1999)
<i>Oreochromis aureus</i>	-	-	-	-	Ergene & Portakal (1999)
<i>O. niloticus</i>	46	48	2m-sm+44	-	Ergene, vd. (1998b)
Atheriniformes					
Atherinidae					
<i>Atherina boyeri</i>	48	-	-	-	Vicdanlı (2007)
Cyprinodontiformes					
Aphanidae					
<i>Aphanius anatoliae</i>	48	54	6sm+42st	C-, AgNOR	Gaffaroğlu, vd. (2014b) ²
<i>A. danfordii</i>	48	54	6sm+42st	C-, AgNOR	Gaffaroğlu, vd. (2014b) ²
<i>A. splendens</i>	48	54	6sm+42st	C-, AgNOR	Gaffaroğlu, vd. (2014b) ²
<i>A. villwocki</i>	48	54	6sm+42st	C-, AgNOR	Gaffaroğlu, vd. (2014b) ²
Mugiliformes					
Mugilidae					
<i>Liza aurata</i>	48	48	48a	-	Saygun, vd. (2001)
<i>L. abu</i> ^{XI}	48	50	2m+46a	Ag-NOR	Değer, vd. (2013)
Bleniiformes					
Bleniidae					
<i>Salaria fluviatilis</i>	48	-	-	C-	Ünal, vd. (2016b) ²
<i>S. fluviatilis</i>	-	-	-	Ag-NOR	Gaffaroğlu, vd. (2016b)
Perciformes					
Mullidae					
<i>Mullus barbatus</i>	44	50	6m-sm+16st+22a	-	Saygun, vd. (2006)
<i>Upeneus moluccensis</i>	44	46	2m+2st+40a	C-, AgNOR, GTG-	Karahan (2016)

^ITürlerin taksonomik sınıflandırılması Betancur-R, vd. (2017), Froese & Pauly (2020) ve Fricke, vd. (2021) göre yapılmıştır. ²Collares Pereira (1992)'nin metoduna göre modifikasyon yapılmış çalışmalar.

Belirtilen türlerin genus, species ve/veya familyaları değişmiştir ve sinonim olarak kabul edilmektedir (Çiçek, vd., 2020; Froese & Pauly, 2020; Firidin, vd., 2020; Fricke, vd., 2021): ^I*Oxyomacheilus* (Nemachelidae), ^{II}*Garra rufa*, ^{III}*Acanthobrama*, ^{IV}*Luciobarbus mystaceus*, ^V*Luciobarbus*, ^{VI}*Carasobarbus*, ^{VII}*Squalius cephalus*, ^{VIII}*Salmo species*, ^{IX}*Scophthalmus maximus*, ^X*Coptodon*, ^{XI}*Planiliza*.

göre karyotip farklılıkları gösterdiği kanıtlanmıştır. *Garra rufa*'da hem coğrafik hem de cinsiyete bağlı dört farklı ve coğrafik farklılığa bağlı olarak iki farklı sitotip (Tablo 3) olmak üzere toplamda altı farklı karyotipin olduğu görülmüştür (Karahan & Ergene, 2009). Yapılan bir çalışmada da Savur Çayı (Mardin)'nde yaşayan *Garra variabilis*'te coğrafik farklılık olmaksızın cinsiyete bağlı iki sitotipi olan popülasyonun olduğu bildirilmiştir. Karyotipin dişilerde 42m+18sm+24st+18a ve erkeklerde 41m+18sm+24t+19a değiştiği belirlenmiştir (Karahan & Ergene, 2010). *Clarias gariepinus*'ta coğrafik farklılığa dayalı olarak iki farklı sitotipi olduğunu bildirilmiştir. Asi Nehri numuneleri için karyotip formülü 24m + 10sm + 10st + 12a ve Göksu Deltası örnekleri için karyotip formülü 28m + 6sm + 10st + 12a şeklinde olduğu tespit edilmiştir (Karahan & Ergene, 2011).

Alabalık üretim tesisinden elde edilen *Oncorhynchus mykiss* örneklerinde yapılan kromozom analizi sonucunda 4 farklı karyotip (2n = 58, 60, 61, 62) bulunduğu ve en yaygın

karyotip olan 2n = 60, 44m-sm+2st+14a kromozoma sahip olduğu (NF: 104) belirlendi. Gökkuşluğu alabalığında yaygın olarak bulunan Robertson polimorfizminin bu karyotip farklılığına neden olduğu bildirilmiştir (Tüfek, 1993). Yine alabalıklarda Ulupınar & Okumuş (2002b) tarafından farklı çiftliklerden örneklenen *O. mykiss*'lerde cinsiyete bağlı üç farklı sitotipin var olduğunu kaydedilmiştir. 2n = 60, 61, 62 sırasıyla, 28m+16sm+14a+XX-st (♀), 24m+17sm+2st+18a (♂), 28m+16sm+18a+XX-st (♀) şeklinde değişen karyotipler görülmüştür. Pasifik salmonidlerinde bu durumun çoğunlukla kromozomlarda evrimsel süreçte meydana çıkan düzenlemelerden olduğu bildirilmiştir (Thorgaard, 1978, 1993). İki farklı akarsu sisteminde (Beyler Barajı/Kocaçay ve Germeçtepe Barajı/Gökırmak-Kastamonu) kurulu olan iki baraj gölündeki *Cyprinus carpio* ve *Squalis (Leuciscus) cephalus* popülasyonlarının kromozomları arasında diploid sayıda (2n = 100 ve 2n = 50, sırasıyla) farklılık gözükmezken her iki türün de iki lokasyondaki örnekleri arasında karyotip

farklılığı tespit edilmiştir. İki popülasyona ait karyotipleri *S (L.) cephalus* Beyler Barajı 18m+12sm+20st-a (NF: 80), Germeçtepe barajı popülasyonunda 20m+12sm+18st-a (NF:82) ve *C. carpio*'nun beyler Barajı popülasyonu 22m+30sm+48st-a (NF: 152), Germeçtepe popülasyonunda ise 20m+30sm+50st-a (NF: 150) şeklinde olduğu ve bu iki türün de iki sitotipinde birer çift metasentrik ve subtelosentrik kromozomlarında coğrafik bakımından sayısal farklılık var olduğu belirtilmektedir (Pekol, 1999a).

Tablo 3'ten de görüleceği üzere Aphaniidae familyasında dört türün kromozom sayıları ve karyotipleri aynı çıktığı bildirilmiştir (Gaffaroğlu, vd., 2014b). Anadolu'nun endemik türlerinden olan *Aphanius anatoliae*, *A. danfordii*, *A. splendens* ve *A. villwocki*'nin 2n kromozom sayıları 48 (NF: 54) ve karyotipleri 6 submetasentrik ve 42 subtelosentrikten oluşmaktadır. Doori (2019) yaptığı çalışmada endemik tür olan *Squalius recurvirostris*'in ZW/ZZ cinsiyet kromozomu sistemine sahip olduğunu belirlemiştir.

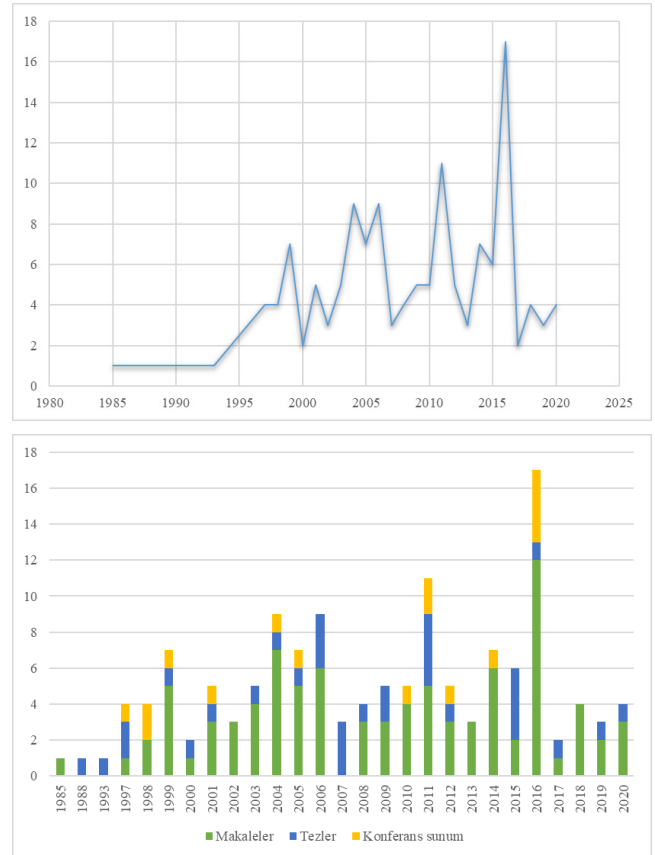
Seminemacheilus lendlii türünde iki farklı çalışmada aynı mevkide ve aynı araştırmacılar tarafından (Gaffaroğlu, vd., 2015; Ünal, vd., 2016a) aynı diploid kromozom sayıları (2n = 50), farklı karyotipleri (26m-sm+24st-a ve 16m+20sm+14st) buna bağlı olarak farklı NF (76 ve 86) değerlerinin olduğunu kaydetmişlerdir. Buna benzer sonuçların *Cyprinion macrostomum* (Gaffaroğlu & Yüksel 2004, 2006, 2014; Yüksel & Gaffaroğlu, 2008a) ve *Chalcalburnus mossulensis* (Gaffaroğlu & Yüksel, 2005; Yüksel & Gaffaroğlu, 2008b) türlerinde de yapılan çalışmalarda da farklı karyotipleri olduğu, farklı zamanlarda aynı araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir (Tablo 3).

Sonuç

Yapılan çalışmalar detaylı incelemeler sonucunda metodolojik bakımdan çoğunlukla Collares-Pereira (1992)'nin uyguladığı havada kurutma tekniği ile kromozom doku kaynağı olarak böbrek dokusu ve solungaçlar kullanılmıştır. Balıklara mitoz bölünmeyi tetikleyici ve hızlandırıcı ön muameleler PHA mitojeni enjeksiyonu ve sonrasında da mitoz bölünmeyi durduran düşük oranlarda kolçisin solüsyonu (mitotik inhibitör) *in vivo* olarak uygulanmıştır. KCl hipotonizasyon işleminde ve fiksasyonda ise Carnoy fiksatif kullanılmıştır. Bütün çalışmalarda çeşitli oranlarda Giemsa boyası ile boyanan preparatların ön mikroskopik muayeneleri yapılmıştır. Daha sonrasında, DNA ve RNA bölgeleri gibi bazı kromozom özelliklerinin tespitinde 48 türde C- ve NOR-bantlama, beş türde GTG, üç türde Q ve iki türde de

RE- boyama gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Türkiye'de ilk olarak da balıklarının evrimsel gelişiminde önemli rol oynayan kromozomlar üzerindeki özel gen bölgelerinin tespitinde kullanılan floresans boyamalar CMA3 ve DAPI ile üç tür için başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Karasu Ayata, 2020a).

Türkiye'de balıklarda beni balığının tespiti ile ilk sitogenetik çalışmaların başladığı 1980'li yıllardan günümüze kadar yapılmış çalışmaların sonuçları 73 makale, 32 akademik tez çalışması ve 15 konferans, sempozyum bildiri makalesi (Şek. 1) ile 38'i endemik olan 103 balık türünün kromozom sayısı tespit edilmiştir. Kromozom sayısı tespit edilen bu türlerin 88'i tatlı su ve 14'ü de tuzlu su balığıdır. Kromozom sayılarına bakıldığında araştırılan balıkların 2n = 22 ile 150 arasında kromozoma sahip oldukları görülmüştür. Karyotipleri incelendiğinde çoğu türde metasentrik ve submetasentrik kromozomların subtelosentrik ve akrosentrik kromozomlara göre daha fazla sayıda olduğu belirlenmiştir. Burada da dünyadaki birçok araştırma ile benzer sonuçlara sahip olan Cypriniformes takımının bazı türlerinde henüz evrilmenin tamamlanmadığı ve kromozomal düzenlemeler ile devam edeceği düşünülebilir. İncelenen türlerin yarısına yakınında



Şekil 1. Yıllara göre Türkiye'deki balık sitogenetiği çalışmaları (üstte) ve yayın tipine göre bu çalışmaların dağılımı (altta).

hücre çeşitli fonksiyonlarını düzenleyen DNA ve RNA gen bölgelerinin C- ve NOR bantlamalarıyla belirlendiği görülmektedir. Aradan geçen otuzbeş yıla rağmen Türkiye'deki toplam balık sayısı düşünüldüğünde ancak %11'i aşkın türün kromozom yapıları hakkında kısıtlı bir bilgi sahibi olduğu anlaşılmaktadır.

Dünya da kromozomlar üzerinde yer alan DNA gen bölgelerinin fiziksel haritalamasını sağlayan FISH metotları geliştirilerek balıklar ve diğer omurgalılar üzerine uygulamalar çok daha artmıştır. İlk olarak 1960'larda geliştirilen moleküler sitogenetik metotlar 1980'lerde kromozomlar üzerindeki evrimde rol oynayan gen bölgeleri daha rahatlıkla görülmesini sağlayan floresans boyama ile gen bölgelerinin *in situ* ortamda etkileşimini kolaylaştıran Pindel (1986)'in metodunun 1990'larda balıklarda da uygulanarak filogenetik çalışmalara hız kazandırmıştır. Günümüzde ise daha ilerletilmiş olan ilk FISH (siyah-beyaz görüntüleme) metodunu klasik hale getiren Multicolor FISH *vd.* (Liehr, 2017) gibi gelişmiş floresans boyama uygulamalarıyla balık türlerinin kromozomlarındaki DNA bölgelerinin fiziksel haritalaması rutin uygulama haline gelmiştir (Cioffi, *vd.*, 2012). Türkiye'deki tatlı su ve deniz balıklarındaki sitogenetik çalışmaların hem moleküler hem de konvensiyonel metotlarla hızlandırılarak, balıkların genom yapıları hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Bu amaçla daha fazla araştırmacı yetiştirilmeye teşvik edilmeli ve yapılacak çalışmalara daha fazla destek verilmelidir. Özellikle moleküler sitogenetik yöntemlerin uygulanabilmesi için üniversite laboratuvarlarının mikroskop vb. alt yapısı geliştirilmeli, yurtdışında yüksek lisans ve doktora öğrencilerinin bu konularda eğitimine öncelik verilmelidir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Yazar Katkıları: Konsept ve dizayn çalışması: S.S.; Veri Toplama: S.S.; Veri Analizi/Yorumlama: S.S.; Makale Taslağı: S.S.; Makalenin Eleştirel Revizyonu: S.S.; Nihai Onay ve Sorumluluk: S.S.; Teknik ve Materyal Desteği: S.S.; Son Kontrol: S.S.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The author has no conflict of interest to declare.

Author Contributions: Conception/Design of study: S.S.; Data Acquisition: S.S.; Data Analysis/ Interpretation: S.S.; Drafting Manuscript: S.S.; Critical Revision of Manuscript: S.S.; Final Approval and Accountability: S.S.; Technical or Material Support: S.S.; Supervision: S.S.

Kaynakça

- Alemdağ, M. (2017). *Anadolu'da dağılım gösteren bazı kahverengi alabalıkların (Salmo trutta labrax, S. t. caspius, S. t. abanticus) ve hibritlerinin kromozom sayısı ve yapısının tespiti* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Allendorf, F. W. & Thorgaard, G. H. (1984). Tetraploidy and the evolution of salmonid fishes. In B. J. Turner (Ed.), *Evolutionary genetics of fishes* (pp. 1–53). New York, USA: Plenum Press.
- Alpaslan, Z. (2020). *Endemik Anadolu inci balığı, Alburnus nasreddini Battalgil, 1943 üzerine sitogenetik araştırmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Zooloji Bilim Dalı, Konya.
- Amemiya, C.T. & Gold, J. R. (1990). Cytogenetic studies in north american minnows (Cyprinidae). *Hereditas*, 112, 231-237.
- Anjum, R. & Jankun, M. (1994). Spontaneous triploid common carp (*Cyprinus carpio* L.) in a farm population. *Cytobios*, 78, 153-157.
- Anonim, (2021, January). *Chromosome*. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Chromosome> (<https://en.wikipedia.org/wiki/Chromosome>) (accessed 09.01.2021)
- Arai, R. (2011). *Fish karyotypes: A check list*. Tokyo, Japan: Springer.
- Araya-Jaime, C., Palma-Rojas, C., Von Brand, E. & Silva, A. (2020). Cytogenetic characterization, rDNA mapping and quantification of the nuclear DNA content in *Seriola violacea* Guichenot, 1848 (Perciformes, Centrolophidae). *Comparative Cytogenetics* 14(3), 319–328. <https://doi.org/10.3897/CompCytogen.v14i3.53087>
- Arslan, A., Alpaslan, Z. & Doori, A. S. J. (2019a). Karyological review of belonging to the some cyprinid genera (Alburnus, Squalius, Phoxinus, Barbus, Capoeta and Chondrostoma) species in Turkey and other countries I. In C.T. Çelik, S. Ertürk, A. Akbulut, M.Y.Y. Yıldırım, P. Yertayeva, U. Ünal (Eds.), *Abstract Book of International Turkic World Congress on Science and Engineering* (p, 49). Niğde, Turkey: Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi.
- Arslan, A., Alpaslan, Z. & Doori, A. S. J. (2019b). Karyological review of belonging to the some cyprinid genera (Alburnoides, Acanthobrama, Blicca, Carasobarbus, Pseudophoxinus, Tinca and Vimba) species in Turkey and other countries II. *Abstract Book of International Turkic World Congress on Science and Engineering* (p, 264), Niğde, Turkey: Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi.

- Arslan, A., Doori, A. S. J. & Alpaslan, Z. (2019c). Karyological review of belonging to the some cyprinid genera (Cyprinus, Carassius, Ctenopharyngodon and Garra) species in Turkey and other countries III. *Abstract Book of International Turkic World Congress on Science and Engineering* (p, 48), Niğde, Turkey: Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi.
- Arslan, A., Doori, A. S. J. & Alpaslan, Z. (2019d). Karyological review of belonging to the some cyprinid genera (Leucaspis, Leuciscus, Luciobarbus, Petroleuciscus, Pseudorasbora, Rhodeus, Rutilus and Scardinius) species in Turkey and other countries IV. *Abstract Book of International Turkic World Congress on Science and Engineering* (p, 263), Niğde, Turkey: Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi.
- Arslan, A. & Alparslan, Z. (2020). Banded karyotypes of the Northern pike, *Esox lucius* (Esocidae) in Turkey. *Acta Aquatica Turcica*, 16(4), 511-515. <https://doi.org/1022392/actaquat.733728>
- Arslan, A. & Gündoğdu, H. (2016). Cytogenetic studies on the endemic Beyşehir nase, *Chondrostoma beyshehirense* (Bogutskaya, 1997) in Turkey. *Caryologia*, 69(2), 116-120.
- Arslan, A. & Takı, F. N. (2012). C-banded karyotype and nucleolar organizer regions of *Tinca tinca* (Cyprinidae) from Turkey. *Caryologia*, 65(3), 246-249.
- Ataç Şahin, T. (2015). *Ilca Deresi'nde (Fatsa/Ordu) yaşayan Barbus tauricus Kessler, 1877 (Pisces; Cypriniformes)'in karyotip analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı, Ordu.
- Aydın, D. (2005). Kızılırmak (Kayseri)'ta yaşayan *Silurus glanis* L., 1758'in karyotip analizi. *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 3(4) suppl., 585-587.
- Bertollo, L. A. C., Takahashi, C. S. & Moreira-Filho, O. (1978). Cytotaxonomic considerations of *Hoplias lacerdae* (Pisces, Erythrinidae). *Brazilian Journal of Genetics*, 1, 103-120.
- Betancur-R., R., Wiley, E. O., Arratia, G., Acero, G., Bailly, N., Miya, M., Lecointre, G. & Orti, G. (2017). Phylogenetic classification of bony fishes. *BMC Evolutionary Biology*, 17(162), 1-40. <https://doi.org/10.1186/s12862-017-0958-3>
- Bilecenoğlu, M., Kaya, M., Cihangir, B. & Çiçek, E. (2014). An updated checklist of the marine fishes of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 38, 901-929.
- Bilgin, B. (2004). *Düzce İl'i ve çevresindeki gökkuşuğu alabalığı (Oncohynchus mykiss) üretim tesislerindeki balıklarda kromozom farklılıklarının belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Blanco, D. R., Bertollo, L. A. C., Lui, R. L., Vicari, M. R., Margarido, V. P., Artoni, R. F. & Moreira-Filho, O. (2012). A new technique for obtaining mitotic chromosome spreads from fishes in the field. *Journal of Fish Biology*, 81, 351-357
- Bresslau, H. (1927). Tierische chromosomen-zahlen, Bd. IV. In Junk, E. (Ed.), *Tabulae Biologicae* (pp.110-112). Berlin, Germany: Verlag.
- Cataudella, S., Sola, L., Accame Muratori, R. & Capanna, E. (1977). The chromosomes of 11 species of Cyprinidae and one Cobitidae from Italy, with some remarks on the problem of polyploidy in the Cypriniformes. *Genetica*, 47, 161-171.
- Cau, A., Coluccia, E., Deiana, A. M., Pichiri, G., Rossino, R., Salvadori, S. & Mezzanotte, R. (1992). Chromosomes and DNA of *Anguilla anguilla* L.: a study with restriction endonucleases. *Genome*, 35, 838-843. <https://doi.org/10.1139/g92-127>
- Cestari, M. M., Pedro, M. & Galetti, J. (1992). Chromosome Studies of *Serrasalmus spilopleura* (Characidae, Serrasalminidae) from the Parana- Paraguay Rivers: Evolutionary and Cytotaxonomic considerations. *Copeia*, 1, 108-112.
- Cioffi, M. B., Molina, W. F., Artoni, R. F. & Bertollo, L. A. C. (2012). Chromosomes as tools for discovering biodiversity –The Case of Erythrinidae fish family. In P. Trilunai (Ed.), *Recent trends in cytogenetic studies-methodologies, applications*. (pp.125-146). IntechOpen.
- Collares-Pereira, M. J. (1992, September). *In vivo direct chromosome preparation (protocol for air drying technique)*. First International Workshop on Fish Cytogenetic Techniques, France.
- Cucchi, C. & Baruffaldi, A. (1990). A new method for karyological studies in teleost fishes. *Journal of Fish Biology*, 37, 71-75.
- Çiçek, E. (2020). *Seminemacheilus dursunavsari*, a new nemacheilid species (Teleostei: Nemacheilidae) from Turkey. *Iranian Journal of Ichthyology*, 7(1), 68-77. <https://doi.org/10.22034/iji.v7i1.494>
- Çiçek, E., Sungur, S. & Fricke R. (2020). Freshwater lampreys and fishes of Turkey; a revised and updated annotated checklist 2020. *Zootaxa*, 4809(2), 241-270.
- Çolak, A., Sezgin, İ. & Süngü, S. (1985). Sazangiller familyasına (Cyprinidae) ait beni balığında (*Cyprinion macrostomus* Heckel, 1843) kromozomal araştırmalar. *Doğa Bilim Dergisi*, A2, 9(2), 193-195.
- Değer, D. (2006). *Dicle Nehri'nde yaşayan Cyprinidae familyası dışındaki bazı balık türlerinin karyolojik özellikleri* (Yüksek Lisans Tezi). Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, Diyarbakır.
- Değer, D. (2011). *Dicle ve Fırat su sistemlerinde yaşayan bazı Cobitoidea türleri üzerine karyolojik araştırmalar*. (Doktora Tezi). Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, Diyarbakır.
- Değer, D., Gaffaroğlu, M., Karasu, M., & Ünlü, E. (2010, Haziran). *Dicle ve Fırat su sistemlerinde yaşayan Mastacembelus mastacembelus'un (Banks & Solander, 1794) karyolojik özellikleri*. 20. Ulusal Biyoloji Kongresi, Denizli.

- Değer, D., Ünlü, E. & Gaffaroğlu, M. (2011b, Ekim). *Dicle Nehri'nde yaşayan Carasobarbus luteus (Heckel, 1843) türünün karyolojik özellikleri*. X. Ekoloji ve Çevre Kongresi, Çanakkale.
- Değer, D., Ünlü, E. & Gaffaroğlu, M. (2012, Eylül). *Dicle Nehri'nde yaşayan Turcinoemacheilus kosswigi Banareescu ve Nalbant, 1964 türünün karyolojik özellikleri*. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Değer, D., Ünlü, E. & Gaffaroğlu, M. (2013). Karyotype of mullet *Liza abu* Heckel, 1846 (Pisces: Mugilidae) from the Tigris River, Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 29, 234–236.
- Değer, D., Ünlü, E. & Gaffaroğlu, M. (2011a, September). *Koswigobarbus kosswigi (Ladiges, 1960) türünün karyotip analizi*. FABA: International Symposium on Fisheries and Aquatic Sciences, Samsun.
- Denton, T. E. (1973). *Fish Chromosome Methodology*. New York, USA: Charles C. Thomas Publisher.
- Doori, A. S. J. (2019). *Ilgın (Çavuşçu) Gölü'ndeki endemik Akşehir tatlısu kefalı, Squalius recurvirostris (Pisces, Cyprinidae)'in sitogenetik analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Konya.
- Drets, M. E. & Shaw, M. W. (1971). Specific banding patterns of human chromosomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 68(9), 2073-2077. <https://doi.org/10.1073/pnas.68.9.2073>
- Ergene Gözükar, S. & Çavaş, T. (2002). Cytogenetic analysis of a Mediterranean gobiid fish of *Gobius paganellus* L., 1758 from Turkey. *Folia Biologica*, 50(1-2), 5-7.
- Ergene Gözükar, S. & Çavaş, T. (2004). A Karyological analysis of *Garra rufa* (Heckel, 1843) (Pisces, Cyprinidae) from the Eastern Mediterranean river basin in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28(3), 497-500.
- Ergene, S. & Çavaş, T. (1999). *Tilapia zilli* (Gervais, 1848)'in (Pisces: Cichlidae) karyolojik analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3), 829-835.
- Ergene, S. & Karahan, A. (1999). *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1897) (Cichlidae, Pisces)'nin karyolojik analizi. *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 19(2), 161-165.
- Ergene, S., & Portakal, E. (1999, Eylül). *Oreochromis aureus (Steindachner, 1864)'un karyolojik analizi*. X. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Adana.
- Ergene, S., Karahan, A. & Kuru, M. (2010). Cytogenetic analysis of *Pseudophoxinus antalyae*, Bogustkaya, 1992 (Pisces: Cyprinidae) from the Eastern Mediterranean River Basin, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 34, 111-117.
- Ergene, S., Kuru, M. & Çavaş, T. (1998a, May). *Barbus plebejus lacerta (Heckel, 1843)'nın karyolojik analizi*. II. Uluslararası Kızılırmak Fen Bilimleri Kongresi, Kırıkkale.
- Ergene, S., Kaya, F., Pekcan, İ. & Oral, A. (1998b, September). *A karyological analysis of Oreochromis niloticus L.* First International Symposium on Fisheries and Ecology, Trabzon.
- Ergene, S., Portakal, E. & Karahan, A. (1999). Karyological analysis and body proportion of catfish (Clariidae, *Clarias lazera*, Valenciennes, 1840) in Göksu Delta, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 23(4): 423-426. <https://doi.org/10.3906/zoo-0807-33>
- Fenocchio, A. S., Venere, P. C., Cesar, A. C. G., Dias, A. L. & Bertollo, L. A. C. (1991). Short term culture from solid tissues of fishes. *Caryologia*, 44(2), 161-166.
- Firidin, Ş., Öztürk, R. Ç., Alemdağ, M., Eroğlu, O., Terzi, Y., Kutlu, İ., Düzgüneş, Z. D., Çakmak, E. & Aydın, İ. (2020). Population genetic structure of turbot (*Scophthalmus maximus* L., 1758) in the Black Sea. *Journal of Fish Biology*, 97, 1154–1164. <https://doi.org/10.1111/jfb.14487>
- Flemming, W. (1882). *Zellsubstanz, kern- und zelltheilung*. Leipzig, Germany: Vogel.
- Fontana, F., Zane, L., Pepe, A. & Congiu, L. (2007). Polyploidy in Acipenseriformes: cytogenetic and molecular approaches (pp. 385–403). In: E. Pisano, C. Ozouf-Costaz, F. Foresti, & B. G. Kapoor, (Eds.) *Fish cytogenetics*. Enfield, London, UK: Science Publishers.
- Foresti, F., Oliveira, C. & Almeida-Toledo, L. F. (1993). A method for chromosome preparations from large fish specimens using in vitro short-term treatment with colchicine. *Experientia*, 49(9), 810-813.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & Fong, J. D. (2021, February). *Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references*. Retrieved from <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp> (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp>) (accessed 11.02.2021)
- Froese, R. & Pauly D. (2020, December). *Fish species numbers in the FishBase classification list*. Retrieved from <http://www.fishbase.us/tools/Classification/ClassificationList.php> (<http://www.fishbase.us/tools/Classification/ClassificationList.php>) (accessed 29.12.2020)
- Fujiwara, A., Nishida-Umehara, C., Sakamoto, T., Okamoto, N., Nakayama, I. & Abei, S. (2001). Improved fish lymphocyte culture for chromosome preparation. *Genetica*, 111(1–3), 77–89. <https://doi.org/10.1023/a:1013788626712>
- Gaffaroğlu, M. & Yüksel, E. (2004). *Cyprinion macrostomus* Heckel, 1843 (Pisces: Cyprinidae)'un karyotip analizi. *Gazi Üniversitesi, Kırşehir Eğitim Fakültesi*, 5(2), 235-239.
- Gaffaroğlu, M. & Yüksel, E. (2005). *Chalcalburnus mossulensis* Heckel, 1843 (Pisces: Cyprinidae)'in karyotipi. *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 114-120.
- Gaffaroğlu, M. & Yüksel, E. (2006). *Cyprinion macrostomus* (Osteichthyes, Cyprinidae)'un NOR fenotipi ve pliodü düzeyi. *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 26(1), 17-22.

- Gaffaroğlu, M. & Yüksel, E. (2009). Constitutive heterochromatin in *Acanthobrama marmid* and *Cyprinion macrostomus* (Osteichthyes, Cyprinidae). *Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi Dergisi*, 15(2), 169-172. <https://doi.org/0.9775/kvfd.2008.72-A>
- Gaffaroğlu, M. (2003). *Karakaya baraj gölünde yaşayan Cyprinidae familyasına ait bazı türlerin karyolojik analizleri* (Doktora Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Gaffaroğlu, M., Karasu Ayata, M. & Ünal, S. (2016a). C-banding properties of *Pseudorasbora parva* (Temminck and Schlegel 1846) (Teleostei: Cyprinidae) from Burdur province, Turkey. *Industrial Technologies*, 3(1), 25-27.
- Gaffaroğlu, M., Karasu Ayata, M., Ünal, S. & Arslan, A. (2013). Chromosomal studies of two different populations (Turkey) of *Luciobarbus escherichii* (Steindachner, 1897). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13, 875-879. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_5_12
- Gaffaroğlu, M., Karasu Ayata, M., Ünal, S. & Kalkan, E. (2014a). *Alburnoides bipunctatus* (Bloch, 1782) (Actinopterygii, Cyprinidae)'un kromozomal özellikleri. *Caucasian Journal of Science*, 1(1), 37-42
- Gaffaroğlu, M., Karasu Ayata, M., Ünal, S. & Özkan, M. (2014b). Karyological analysis of some species of *Aphanius* (Osteichthyes: Cyprinodontidae) from Anatolia. *Pakistan Journal of Zoology*, 46(5), 1271-1275. <https://doi.org/0030-9923/2014/0005-1271>
- Gaffaroğlu, M., Karasu Ayata, M., Ünal, S. & Yüksel, E. (2014d, September). *Chromosomal analysis of Pseudophoxinus elizavetae Bogutskaya, Küçük and Atalay, 2007 (Teleostei, Cyprinidae) from Anatolia*. FAB2014: International Symposium on Fisheries and Aquatic Science, Trabzon.
- Gaffaroğlu, M., Karasu, M. & Ünal, S. (2012). Karyotype of river loach *Turcinoemacheilus kosswigi* Banareescu and Nalbant, 1964 (Cypriniformes, Balitoridae) from the Euphrates River, Turkey. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 821-826.
- Gaffaroğlu, M., Ünal, S. & Karasu Ayata, M. (2015). Cytogenetic analysis of *Seminemacheilus lendli* (Hanko, 1925) (Teleostei: Nemacheilidae) from Anatolia, Turkey. *Sylwan*, 159(5), 94-102.
- Gaffaroğlu, M., Ünal, S. & Karasu Ayata, M. (2016b). The investigation of nucleolus organizer region in *Salarias fluviatilis* (Asso, 1801) (Teleostei: Blenniidae) from Ceyhan River, Osmaniye, Turkey. *Industrial Technologies*, 3(1), 34-36.
- Gaffaroğlu, M., Ünal, S. & Karasu Ayata, M. (2014c). Karyotype properties of *Oxyneomacheilus angorae* (Steindachner, 1897) (Teleostei, Nemacheilidae) from Anatolia. *Journal of Fisheries Science.com*, 8(4): 342-345.
- Gaffaroğlu, M., Yılmaz, M. & Yılmaz, M. (2009). Karyotype of *Pseudorasbora parva* (Temminck and Schlegel 1846) (Pisces, Cyprinidae) in Kızılırmak River, Turkey. *Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi Dergisi*, 15(3), 407-409. <https://doi.org/0.9775/kvfd.2009.013-A>
- Gaffaroğlu, M., Yüksel, E. & Ráb, P. (2006). Note on the karyotype and NOR phenotype of leuciscine fish *Acanthobrama marmid* (Osteichthyes, Cyprinidae). *Biologia, Bratislava*, 61(2), 207-209. <https://doi.org/0.2478/s11756-006-0031-y>
- Goes, G. A. G., Daniel, S. N., Piva, L. H., Yasui, G. S., Artoni, R. F., Hashimoto, D. T., Foresti, F. & Porto-Foresti, F. (2020). Cytogenetic markers as a tool for characterization of hybrids of *Astyanax* Baird & Girard, 1854 and *Hyphessobrycon* Eigenmann, 1907. *Comparative Cytogenetics*, 14(2), 231-242. <https://doi.org/10.3897/CompCytogen.v14i2.49513>
- Gül, S. (1988). *2,4-D Ester'in siraz balıklarında (Capoeta capoeta umbla, Heckel, 1843) kromozom yapıları üzerine etkilerinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji, Sivas.
- Gül, S., Çolak, A. & Sezgin, İ. (2000). Gümüş balığında (*Chalcalburnus mossulensis* Hessel, 1843) karyotip analizi. *Turkish Journal of Biology*, 24, 657-662.
- Gül, S., Çolak, A., Sezgin, İ. & Kaloğlu, B. (2003). C, G and restriction endonuclease (*Alu* I, *Nhe* I, *Hae* III, *Mbo* I, *Hinf* I) banding of the chromosomes in *Chalcalburnus tarichi* (Pallas 1811) endemic to Lake Van. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 27(6), 1293-1298.
- Gül, S., Çolak, A., Sezgin, İ. & Kaloğlu, B. (2004). Karyotype analysis in *Alburnus heckeli* (Battalgi, 1943) from Lake Hazer. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28(2), 309-314.
- Gül, S., Nur, G. & Baysal, A. (2006). Karyotype analysis of *Alburnus filippii* Kessler, 1877. *The Indian Veterinary Journal*, 83(1), 100-102.
- Gülkaç, M. D. (1987). *Malatya yöresi kör fareleri (Rodentia: Spalacidae) üzerinde sitogenetik bir inceleme* (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Malatya.
- Gündoğdu, H. (2016). *Endemik Beyşehir kababurun balığı, Chondrostoma beysehirense (bogutskaya, 1997) üzerine sitogenetik araştırmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Konya.
- Hamalosmanoğlu, M. & Kuru M. (2003). Karyotype analyses of the *Cyprinus carpio* (L., 1758) (carp) live in Mogan Lake (Ankara). *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23(1), 1-10.

- Hamalosmanoğlu, M. & Kuru M. (2004). Karyotype analyses of the tench (*Tinca tinca* L., 1758) living in Lake Mogan (Ankara). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28, 143-147.
- Hamalosmanoğlu, M. (1997). *Mogan Gölünde yaşayan Tinca tinca (L.1758) ve Cyprinus carpio L. 1758'nun karyotip analizi*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Harvey, E. B. (1916). A review of the chromosome numbers in the metazoa. *Journal o Morphology*, 28(1), 1-62.
- Howell, W. M. & Black D. A. (1980). Controlled silver staining of nucleolus organizer regions with a protective colloidal developer. 1 Step Method. *Experientia*, 36, 1014-1015.
- Howell, W. M. (1977). Visualization of ribosomal gene activity: silver stained proteins associated with rRNA tanscribed from oocyte chromosomes. *Chromosoma*, 62, 361-367.
- Howell, W. M. (1982). Selective staining of nucleolus organizer regions (NORs). *The Cell Nucleus*, 11, 89-142.
- Kannan, T. P. & Zilfalil B. A. (2009). Cytogenetics: past, present and future. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, 16(2), 4-9.
- Karahan, A. & Ergene, S. (2009). Cytogenetic variation of geographically isolated four populations of *Garra rufa* [Heckel, 1843] (Pisces, Cyprinidae) in Turkey. *Caryologia*, 62(4), 276-287.
- Karahan, A. & Ergene, S. (2010). Cytogenetic analysis of *Garra variabilis* (Heckel, 1843) (Pisces, Cyprinidae) from Savur Stream (Mardin), Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10, 483-489. <https://doi.org/0.4194/trjfas.2010.0407>
- Karahan, A. & Ergene, S. (2011). Chromosomal differentiation between populations of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) from the Göksu Delta and Orontes River (Turkey). *Turkish Journal of Biology*, 35, 79-87. <https://doi.org/10.3906/biy-0903-4>
- Karahan, A. (2007). *Garra rufa ve Garra variabilis'in morfometrik ve sitogenetik yönden karşılaştırmalı olarak incelenmesi* (Doktora tezi). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, Mersin.
- Karahan, A. (2016). Karyotype analysis and chromosome banding of *Upeneus moluccensis* (Bleeker, 1855) from the north-eastern Mediterranean. *Caryologia*, 69(2), 141-146. <https://doi.org/10.1080/00087114.2016.1139415>
- Karasu Ayata, M., Yüksel, E. & Gaffaroğlu, M. (2016a). Cytogenetic studies on six species of the leuciscine genus *Pseudophoxinus* Bleeker, 1860 (Teleostei, Cyprinidae), *Caryologia*, 69(3), 215-222.
- Karasu Ayata, M., Ünal, S. & Gaffaroğlu, M. (2016b). The analysis of nucleolus organizer regions in *Pseudorasbora parva* (Temminck and Schlegel 1846) (Teleostei: Cyprinidae) from Burdur Province, Turkey. *Industrial Technologies*, 3(1), 28-30.
- Karasu Ayata, M. & Gaffaroğlu, M. (2019). Chromosomal studies of *Luciobarbus kottelati* (Teleostei, Cyprinidae). *Cytologia*, 84(4), 331-334. <https://doi.org/10.1508/cytologia.84.331>
- Karasu Ayata, M. (2015). *Anadolu'da yayılış gösteren bazı Pseudophoxinus (Pisces, Cyprinidae) türlerinde sitogenetik araştırmalar* (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Karasu Ayata, M. (2020a). Chromomycin A₃ and DAPI staining of chromosomes of three endemic *Pseudophoxinus* Bleeker, 1860 (Teleostei: Leuciscidae) species from Anatolia. *Acta Aquatica Turcica*, 16(2), 283-289. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.667595>
- Karasu Ayata, M. (2020b). Comparative cytogenetics of two *Squalius* Bonaparte, 1837 species (Cypriniformes: Leuciscidae). *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 44(2), 355-360. <https://doi.org/10.1007/s40995-020-00836-0>
- Karasu Ayata, M., Ünal, S. & Gaffaroğlu, M. (2017). Karyotypes of *Capoeta antalyensis* (Battalgil, 1944) and *Capoeta baliki* Turan, Kottelat, Ekmekçi & İmamoğlu, 2006 (Actinopterygii, Cyprinidae). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17, 269-273. https://doi.org/0.4194/1303-2712-v17_2_05
- Karasu Ayata, M., Ünal, S. & Gaffaroğlu, M. (2018a). Chromosomal analyses of *Cobitis phrygica* Battalgazi, 1944 and *C. simplicispina* Hanko, 1925 (Teleostei, Cobitidae). *Cytologia*, 83(3), 295-299. <https://doi.org/10.1508/cytologia.83.295>
- Karasu Ayata, M., Ünal, S. & Gaffaroğlu, M. (2018b). Chromosomal analysis of *Oxynoemacheilus atili* (Erk'akan, 2012) (Teleostei, Nemacheilidae). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18, 991-994. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_8_07
- Karasu Ayata, M., Ünal, S. & Gaffaroğlu, M. (2019). Ag-NOR karyotypes of five endemic *Pseudophoxinus* Bleeker, 1860 (Teleostei: Leuciscidae) species from Anatolia. *Genetics of Aquatic Organisms*, 3(1), 27-30. https://doi.org/10.4194/2459-1831-v3_1_04
- Karasu, M. (2009). *Pseudophoxinus firati (Pisces: Cyprinidae)'nin karyotip özellikleri* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Karasu, M., Yüksel, E. & Gaffaroğlu, M. (2011). Karyotype, NORs, and C-banding analysis of *Pseudophoxinus firati* Bogutskaya, Küçük & Atalay, 2007 (Actinopterygii, Cyprinidae) in the Euphrates River, Turkey. *Turk Journal of Zoology*, 35(6), 865-868. <https://doi.org/10.3906/zoo-0912-129>
- Kastschenko, N. (1890). Über den Reifungsprozess des Selachiereies. *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie – Zobodat*, 50, 428-442.
- Kaya, F. & Ergene Gözükar, S. (2004, Haziran). *Seyhan Nehri'nde bulunan Capoeta barroisi (Lortet, 1894) (Pisces: Cyprinidae)'nin sitogenetik analizi*. XVII. Ulusal Biyoloji Kongresi, Adana.

- Kaya, F. (2009). *Göksu Nehri'nde yaşayan bazı ekonomik balıkların karyolojilerinin incelenmesi* (Doktora tezi). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, Mersin.
- Kaya, T. Ö. (2007). *Kura-Aras havzasından çöpçü balığı (Orthrias angorae Steindachner, 1897)'nda hromozomal çalışmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kars.
- Kaya, T. Ö., Gül, S. & Nur, G. (2005). Karyotype analysis in *Orthrias angorae* (Steindachner, 1897). *Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi Dergisi*, 11(2), 137-140.
- Kenanoğlu, O. N. (2012). *Gökkuşluğu alabalığı (Oncorhynchus mykiss) yumurtalarına farklı sürelerde uygulanan ısı şokunun triploid oluşuma ve yaşama oranına etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Kenanoğlu, O. N., Yılmaz, S., Ergün, S. & Akı, C. (2013). A preliminary study on the determination of triploidy by chromosome analysis at the different stages of development in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Marine Science and Technology Bulletin*, 3, 17-21.
- Kılıç Demirok, N. & Ünlü, E. (2001). Karyotypes of cyprinid fish *Capoeta trutta* and *Capoeta capoeta umbla* (Cyprinidae) from the Tigris River. *Turkish Journal of Zoology*, 25(4), 389-393.
- Kılıç Demirok, N. & Ünlü, E. (2004). Karyotype of the cyprinid fish *Alburnoides bipunctatus* (Cyprinidae) from the Tigris River. *Folia Biologica (Krakow)*, 52(1-2), 57-59.
- Kılıç Demirok, N. (2000). *Dicle Su Sisteminde yaşayan bazı cyprinid tür ve alttürlerinin kromozomları üzerine çalışmalar* (Doktora Tezi). Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- Kılıç, B., (2006). *Kura-Aras Havzasından Orthrias tigris (Heckel, 1843)'de kromozomal çalışmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kars.
- Kılıç, B., Gül, S., Özkan, O., Kaya, T. Ö., Nur, G. & Aksu, P. (2011). Karyotype analysis in *Orthrias tigris* (Heckel, 1843), living in the Kura-Aras River basin. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences*, 11, 021004, 43-49.
- Kılıç, D. & Şişman, T. (2016). Karyotype analysis of chub, *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758) (Teleostei: Cyprinidae) from Karasu River, Erzurum, Turkey. *Caspian Journal Of Environmental Sciences*, 14(2), 95-103.
- Kligerman, A. D. & Bloom, S. E. (1977). Rapid chromosome preparations from solid tissues of fishes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34, 266- 269.
- Köhler, A. (1999). Chromosome staining. In R. D. Wegner (Ed.), *Diagnostic cytogenetics*. (pp. 52-74). Heidelberg, Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin.
- Lee, M. R. & Elder, F. F. B. (1980). Yeast stimulation of bone marrow mitosis for cytogenetic investigations. *Cytogenetics and Cell Genetics*, 26, 36-40. <https://doi.org/10.1159/000131419>
- Levan, A., Fredga, K. & Sandberg, A. A. (1964). Nomenclature for Centromeric Position on Chromosomes. *Hereditas*, 52(2), 201-220.
- Liehr, T. (2017). *Fluorescence in situ hybridization (FISH): Application guide* (2nd ed.). Heidelberg, Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin.
- Molina, W. F. (2001). An alternative method for mitotic stimulation in fish cytogenetics. *Chromosome Science*, 5, 149-152.
- Moorhead, P. S., Nowell, P. C., Mellman, W. J., Battips, D. M. & Hungerford, D. A. (1960). Chromosome preparations of leukocytes cultured from human peripheral blood. *Experimental Cell Research*, 20(3), 613-616. [https://doi.org/10.1016/0014-4827\(60\)90138-5](https://doi.org/10.1016/0014-4827(60)90138-5)
- Moreva, I. N. (2020). The Karyotype of the Brightbelly Sculpin *Microcottus sellaris* (Gilbert, 1896) (Cottidae: Myoxocephalinae). *Russian Journal of Marine Biology*, 46(1), 29-33. <https://doi.org/10.1134/S1063074020010058>
- Nur, G. (2006). *Kura-Aras havzasına endemik Acanthalburnus microlepis (De Filippi 1863) ve Alburnus filippii (Kessler 1877)'de kromozomal çalışmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kars.
- Nur, G., Gül, S., Kaya, T. Ö. & Baysal, A. (2008). C, G and restriction endonuclease (*AluI*, *NheI*, *HaeIII*, *MboI*, *HinfI*) banging of the chromosomes in *Acanthalburnus microlepis* (De Filippi, 1863) endemic to Kura-Aras River. *Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 1-10.
- Oguma, K. & Makino, S. (1937). A new list of the chromosome numbers in Vertebrata. *Summary of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University*, 5(4), 297-356.
- Oguma, K. & Makino, S. (1932). A revised check-list of the chromosome number in vertebrata. *Journal of Genetics*, 26, 239-254. <https://doi.org/10.1007/BF02984692>
- Ölmez Aydın, D. & Kuru, M. (2001). Karyotype of the *Carassius auratus* (L., 1758) live in Kızılırmak (Kayseri-Turkey). *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 21(3), 33-37.
- Ölmez, D. (1997). *Kızılırmak (Kayseri)'ta yaşayan Carassius auratus (L., 1758) ve Silurus glaris L., 1758'in karyotip analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Örs, T. (2001). *Ege Bölgesinde ekonomik değeri olan bazı balık türleri ile genetiksel karyotip araştırmalar* (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, İzmir.
- Örs, T. (2003). Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) böbrek doku örnekleri ile karyotip oluşturulması. *Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Dergisi*, 20(3-4), 497-501.

- Özuluğ, M., Geiger, M. F. & Freyhof, J. (2018). *Alburnus goekhiani*, a new species of bleak from the Anatolian Black Sea basin (Teleostei: Leuciscidae). *Zootaxa*, 4425, 29-40. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4425.1.2>
- Pekol, S. & Arslan, O. (2014). *Squalius cephalus* (L., 1758)'un NOR fenotipi ve sucul ortam ekotoksikolojik çalışmalar açısından değerlendirilmesi (Kastamonu Beyler barajı popülasyonu). *Menba Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 3, 23-28.
- Pekol, S. (1999a). *Kastamonu Beyler ve Germeçtepe Barajlarındaki Cyprinus carpio* (L., 1758) ve *Leuciscus cephalus* (L., 1758) popülasyonlarının karşılaştırmalı karyotip analizi ve NOR fenotipleri (Doktora Tezi) Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pekol, S. (1999b). Beyler barajında (Kastamonu) yaşayan *Cyprinus carpio*'nun (L.1758) karyotip analizi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 7(1), 173-178.
- Pekol, S. (1999c). Kastamonu Beyler ve Germeçtepe barajlarındaki *Cyprinus carpio* (L.,1758) popülasyonlarının karşılaştırmalı analizi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 7(2), 3-8.
- Pekol, S. (2003). Kastamonu Beyler Barajı'ndaki *Cyprinus carpio* (L., 1758) popülasyonunun NOR fenotipi. *Gazi Üniversitesi, Kastamonu Eğitim Dergisi*, 11(1), 183-192.
- Pekol, S. (2006). Kastamonu Beyler ve Germeçtepe barajlarındaki *Cyprinus carpio* (L., 1758) popülasyonlarının karşılaştırmalı NOR fenotipi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 14(1), 185-194.
- Pinkel, D., Straume, T. & Gray, J. W. (1986). Cytogenetic analysis using quantitative, high-sensitivity, fluorescence hybridization. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 83, 2934-2938. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.9.2934>
- Pradeep, P. J., Srijaya, T. C., Zain, R. B. M., Papini, A. & Chatterji, A. K. (2011). A simple technique for chromosome preparation from embryonic tissues of teleosts for ploidy verification. *Caryologia*, 64, 235-241. <https://doi.org/10.1080/00087114.2002.10589788>
- Ráb, P. (1981). Karyotype of European catfish *Silurus glanis* (Siluridae, Pisces), with remarks on cytogenetics of siluroid fishes. *Folia Zoologica*, 30, 271-286.
- Ráb, P. & Roth, P. (1988). Cold-blooded vertebrates. In: P. Balíček, J. Forejt & J. Rubeš, (Eds.), *Methods of Chromosome Analysis* (pp. 115-124). [in Czech], Brno (Czechia): Czechoslovak Biological Society Publishers.
- Retzius, G. (1890). Über zellenteilung bei *Myxine glutinosa*. *Biol. Fören. (Stockholm) Förhandl.*, 2(8), 80-91.
- Rückert, J. (1892). Zur entwicklungsgeschichte des ovarialeies bei selachiern. *Anatomischer Anzeiger*, 7, 107-158.
- Saç, G., Özuluğ, M., Geiger, M. F. & Freyhof, J. (2019a). *Pseudophoxinus cilicicus*, a new spring minnow from southern Anatolia (Teleostei: Leuciscidae). *Zootaxa*, 4671, 105-118. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4671.1.8>
- Saç, G., Özuluğ, M., Elp, M., Gaffaroğlu, M., Unal, S., Ayata, M. K., Kaya, C. & Freyhof, J. (2019b). New records of *Pseudophoxinus firati* from Turkey (Teleostei: Leuciscidae). *Journal of Applied Ichthyology*, 35, 769-774. <https://doi.org/10.1111/jai.13869>
- Sağsöz, S. (1972). *Diploit İngiliz çiminden (Lolium perenne L.) tetraploid İngiliz çiminin elde edilmesi imkanları bu bitkilerde mitoz ve meioz kromozomlar ile bazı morfolojik özelliklerin mukayesesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Erzurum.
- Sánchez, L., Martínez, P., Bouza, C. & Vinas, A. (1991). Chromosomal heterochromatin differentiation in *Salmo trutta* with restriction enzymes. *Heredity*, 66, 241-249.
- Saygun, S. (2005). *Karadeniz'de yaşayan çeşitli yassı balıkların (Pisces, Pleuronectiformes) kromozom yapılarının karşılaştırılması* (Doktora Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Saygun, S. (2018). Karyotype of the Black Sea turbot, *Scophthalmus maeoticus* (Pallas 1814) (Pisces: Pleuronectiformes). *Biological Diversity and Conservation*, 11(3), 223-229.
- Saygun, S. (2021). The fishes of the Bolaman Stream, Northern Turkey. *Aquatic Research*, 4(1), 38-54. <https://doi.org/10.3153/AR21004>
- Saygun, S. & Ataç, T. (2010, Temmuz). *Salmonidae (Pisces, Salmoniformes) familyasında görülen kromozom mutasyonlarının türleşmedeki evrimsel rolü*. 2. Ulusal Alabalık Sempozyumu, Konya.
- Saygun, S., & Bircan, R. (2015). The first karyological description of European flounder, *Platichthys flesus luscus* (Pallas, 1814) (Pisces, Pleuronectiformes) living in the Black Sea. *Ege Journal of Fishery Aquatic Science*, 32(1), 9-14.
- Saygun, S. & Saygun, F. (2016). The first study in Turkey about the chromosomes of tongue fish, *Pegusa lascaris* (Risso, 1810) (Soleidae, Pleuronectiformes), living in the Black Sea. *Biological Diversity and Conservation*, 9(3), 1-7.
- Saygun, S., Ataç Şahin, T. & Saygun, F. (2018). Cytotaxonomy of the Crimean barb, *Barbus tauricus* Kessler 1877 (Pisces, Cypriniformes, Barbinae) living in Turkey. *Biological Diversity and Conservation*, 11(1), 149-159.
- Saygun, S., Bircan, R. & Karayücel, İ. (2003, Eylül). *Balık karyotipinin gelişimi* (s. 21-31). XII. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Elâzığ.
- Saygun, S., Karayücel, İ. & Bircan, R. (2006). Karyological observation of red mullet (*Mullus barbatus* L. 1758). *Turkish Journal of Biology*, 30, 235-238.
- Saygun, S., Karayücel, İ. & Karyücel, S. (2001, Eylül). *Karadeniz'de Sinop yöresinde bulunan altınbaş kefalın, Liza aurata (Risso, 1810) (Mugilidae), üzerine kromozomal incelemeler* (s. 740-747). XI. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Hatay.

- Seabright, M. R. (1971). A rapid banding techniques for human chromosomes. *The Lancet*, 2, 971–972. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(71\)90287-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(71)90287-X)
- Sharma, A.K. & Sharma, A. (1980). *Chromosome techniques: Theory and practice* (3th ed.). London, UK: Butterworth & Co (Publishers) Ltd.
- Sharma, O. P., Tripathi, N. K. & Sharma, K. K. (2002). A Review of Chromosome Banding in Fishes. In R.C. Sobti, G. Obe, & R. S. Athwal (Eds.), *Some Aspects of Chromosome Structure and Functions* (pp. 109-122). New Delhi, India: Narosa Publishing House.
- Sumner, A. T. (1972). A simple technique for demonstrating centromeric heterochromatin. *Experimental Cell Research*, 75, 304-306.
- Şişman, T., Şanlı, F., Tepe, Y. & Kılıç, D. (2016). Erzurum Karasu Nehri balıklarından *Chalcalburnus mossulensis*'in (Heckel, 1843) karyotip özellikleri. *Yunus Araştırma Bülteni*, 4, 281-292.
- Taki, F. N. (2011). *Beyşehir Gölü'ndeki kadife balığı, Tinca tinca (L., 1758) üzerine sitogenetik araştırmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Konya.
- Tanrikulu, D. (2008). *Kura-Aras Havzası'nda bulunan çöpçü balığında (Orthrias panthera, Heckel 1843) karyotip analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kars.
- Thorgaard, G. H. & Disney, J. E. (1990). Chromosome preparation and analysis. In C. B. Schreck & P. B. Moyle (Eds.), *Methods for Fish Biology* (pp. 171-187). Bethesda, USA: American Fisheries Society.
- Thorgaard, G. H. (1978). Sex Chromosomes in the Sockeye Salmon: A Y outosome fusion. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, 20, 349-354.
- Thorgaard, G. H. (1993). Chromosomal differences among rainbow trout populations. *Copeia*, 3, 650-662.
- Tjio, J. H. & Levan, A. (1956). The chromosome number of man. *Hereditas*, 42(1–2), 723-724. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1956.tb03010.x>
- Turan, C., Karcıoğlu, M., Hazar, D. & Sevenler, S. (2005). Asi Nehri (Hatay)'nde yaşayan *Barbus* (Cyprinidae) türlerinin sitogenetik analizi. *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 3(4), 579-584.
- Turan, C., Karcıoğlu, M., Turan, F., Sevenler, S. & Hazar, D. (2004). Asi Nehri (Hatay)'nde yaşayan *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)'nin sitogenetik analizi. *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 2(3), 194-200.
- Tüfek, Ö. M. (1993). *Gökkuşluğu alabalığında (Oncorhynchus mykiss) kromozomlarının incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- Ulupınar, M. & Okumuş, İ. (1997, Eylül). *Gökkuşluğu alabalığında (Oncorhynchus mykiss) kromozom preparasyonu için ıslah edilmiş bir metod*. IX. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Eğirdir, Isparta.
- Ulupınar, M. & Okumuş, İ. (2002a). Detection of mutagenic-carcinogenic pollutants in aquatic systems using cytogenetic methods in fish. *Turkish Journal of Zoology*, 26, 141-148.
- Ulupınar, M. & Okumuş, İ. (2002b). Detection of Chromosomal Polymorphisms in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Cultured in Commercial Farms in Northeast Black Sea Region of Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 26(3), 525-533.
- Uysal, U. E. (2011). *Büyük Menderes nehrinden yakalanan Chondrostoma meandrense (Elvira, 1987) ve Acanthobrama mirabilis (Ladiges, 1960) (Cyprinidae)'in karyotip analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim dalı, Aydın.
- Ünal, S. & Gaffaroğlu, M. (2016). Karyology of six cyprinid fishes from Seyhan and Ceyhan rivers in Anatolia. *Caryologia*, 69, 362-369. <https://doi.org/10.1080/00087114.2016.1247328>
- Ünal, S. (2011). *Squalius anatolicus (Bogutskaya, 1997) (Pisces, Cyprinidae)'un sitogenetik analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim dalı, Kırşehir.
- Ünal, S. (2015). *Seyhan ve Ceyhan nehir sistemlerinde yaşayan bazı cyprinid türlerinde karyolojik incelemeler* (Doktora Tezi). Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim dalı, Kırşehir.
- Ünal, S., Gaffaroğlu, M., Karasu Ayata, M. & Yüksel, E. (2014). Karyotype, C-banding and AgNORs of two endemic leuciscine fish, *Pseudophoxinus crassus* (Ladiges, 1960) and *P. hittitorum* Freyhof & Özulug, 2010 (Teleostei, Cyprinidae). *Comparative Cytogenetic*, 8(4), 249-257. <https://doi.org/10.3897/CompCytogen.v8i4.7623>
- Ünal, S., Karasu Ayata, M. & Gaffaroğlu, M. (2016a). Cytogenetic analysis of *Seminemacheilus lendlii* (Hanko, 1925) (Teleostei: Nemacheilidae). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16, 913-916. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16_4_18
- Ünal, S., Karasu Ayata, M. & Gaffaroğlu, M. (2016b). Constitutive heterochromatin patterns of *Salarias fluviatilis* (Asso, 1801) (Teleostei: Blenniidae) from Ceyhan River, Osmaniye, Turkey. *Industrial Technologies*, 3(1), 31-33.
- Vicdanlı, S. M. (2007). *Sinop yöresinde avlanan ekonomik öneme sahip bazı deniz balıklarında kromozom çalışmaları* (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Völker, M. & Kullmann H. (2006). Sequential chromosome banding from single acetic acid fixed embryos of *Chromaphysosemion* killifishes (Cyprinodontiformes, Nothobranchiidae). *Cybium*, 30, 171-176.

- Yıldırım, H. (2015). *Gökkuşığı Alabalığı (Oncorhynchus mykiss) kromozom sayısının lökositlerinden tespiti* (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Yüksel, E. & Gaffaroğlu, M. (2006). *Cyprinion macrostomus* (Osteichthyes, Cyprinidae)'un NOR fenotipi ve pliodi düzeyi. *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 26(1), 17-22.
- Yüksel, E. & Gaffaroğlu, M. (2008a). NOR phenotype of *Cyprinion macrostomus* (Osteichthyes, Cyprinidae). *Journal of Fisheries Science.com*, 2(2), 114-117. <https://doi.org/10.3153/jfsc.com.2008012>
- Yüksel, E. & Gaffaroğlu, M. (2008b). The analysis of nucleolar organizer regions in *Chalcalburnus mossulensis* (Pisces: Cyprinidae). *Journal of Fisheries Science.com*, 2(3), 587-591. <https://doi.org/10.3153/jfsc.com.2008021>