

# DİLİN KÖKENİ ARAYIŞLARI II: FOXP2 GENİ

## *The Search for the Origin of Language II: FOXP2 Gene*

**Caner KERİMOĞLU\***

*Dil Araştırmaları, Güz 2017/21: 35-50*

**Öz:** FOXP2 geni konuşma ve dil bozukluklarında etkili olma bakımından tespit edilen ilk genidir. FOXP2, 1980’li yılların sonunda İngiltere’de yaşayan Pakistan kökenli bir ailede görülen konuşma ve dil bozukluklarını araştırırken keşfedilmiştir. Literatüre KE ailesi olarak geçen bu aile University London College’ye bağlı Çocuk Sağlığı Enstitüsünde 1990 yılından itibaren gözlenmeye başlanmıştır. Üç kuşaktan 30’a yakın aile bireyi gözlenmiş, yaklaşık yarısında çeşitli konuşma bozuklukları belirlenmiştir. Araştırmacılar bozuklukların görüldüğü hastalardan aldıkları DNA örnekleriyle sorunlu genin 7 nolu kromozomda uzun (q) kolun 31 nolu pozisyonunda bulunduğunu ortaya koydular. FOXP2 geni insan dışı canlılarda da bulunmaktadır, tüm omurgalılarda özellikle de memelilerde iyi korunmuştur. İnsan FOXP2 geni, 715 aminoasit uzunluğunda protein zinciri kodlar. Fare ve şempanzedeki FOXP2 genleri karşılaştırıldığında aralarında tek bir fark olduğu görülür. İnsan FOXP2 geni farelerdeki FOXP2 geninden 3 yerde, ortak atadan geldiği şempanze ve bonobo FOXP2 geninden ise yalnızca 2 yerde farklılık gösterir. Gendeki bu mutasyonların da son 200 000 yıl içinde gerçekleştiği Enard vd. (2002) tarafından belirlenmiştir. İnsandaki FOXP2 geninin bugünkü hâlini alması ile modern insanın (*homo sapiens*) anatomik olarak ortaya çıktığı tarih birbiriyle uyumludur. Modern konuşmanın yaklaşık 150 000 - 200 000 yıl öncesine gittiği yönündeki tahminler FOXP2 araştırmalarının sonuçlarıyla da desteklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dilin kökeni, FOXP2 geni, dilin evrimi.

**Abstract:** FOXP2 is the first gene known to be responsible for causing language and speech disorders. The FOXP2 gene was discovered while studying speech and language disorders of a Pakistani family living in the UK at the end of the 1980s. This family, called KE, started to be observed at the University College London (Institute of Child Health) in 1990. 30 family members from three generations were observed, and it was found that 15 members had speech disorders. By taking DNA samples from patients, researchers have revealed that the gene is located on the long (q) arm of chromosome 7 at position 31. The locus was given the official name “SPCH1” (for speech-and-language-disorder-1) by the Human Genome Nomenclature committee. The FOXP2 gene is highly conserved in vertebrates (especially in mammals). The human FOXP2 gene encodes a protein of 715 amino acids. While the mouse FOXP2 differs in 3 amino acids from human beings, the chimpanzee and the bonobo FOXP2 genes differ from the human FOXP2 gene in just 2 amino acids. Enard et al. (2002) report that the human FOXP2 gene fixed in 200 000 years ago. These results are consistent with the date of the anatomically emergence of human being (*homo sapiens*). The results of the studies on FOXP2 support the prediction that the modern speech emerged about 150 000 - 200 000 years ago.

**Keywords:** The origin of language, FOXP2, the evolution of language.

\* Doç. Dr. Caner Kerimoğlu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Türkçe Eğitimi AD., İzmir/TÜRKİYE, canerkerimoglu@yahoo.com. Gönderim Tarihi: 19.04.2017 / Kabul Tarihi: 16.08.2017

## Giriş

Dil, insanı diğer canlılardan ayıran en önemli olgudur. İnsan dili, diğer canlıların iletişim biçimlerinden *çift eklemlilik*, *özyineleme* (recursion) gibi özellikleriyle ayrılır. Dilin bu benzersizliği veya literatürdeki yaygın terimi kullanacak olursam “biricikliği” (uniqueness) bilimin en önemli meraklarından biridir. Dilin kökeni bu biricikliğin yarattığı pek çok zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukları aşmak için antropolojiden biyolojiye pek çok alanda çalışma yürütülmektedir. Daha önceki bir çalışmamda dilin kökeni ile ilgili arayışların tarihçesini ve günümüzde bilim dünyasında bu konuyla ilgili olan tartışmaları değerlendirmiştim (bk. Kerimoğlu 2016). “Dilin Kökeni Arayışları” üst başlığıyla konunun farklı yönlerini bir dizi incelemeyle sunmayı hedefliyorum. Bu inceleme “Dilin Kökeni Arayışları” başlığı altında yaptığım çalışmaların ikincisi olma özelliğini taşıırken merkezinde dil ve gen ilişkisi bulunmaktadır. Dil geni olarak da adlandırılan FOXP2 geninin keşfi, özellikleri ve insan dilinin evrimindeki payını ana hatlarıyla sunmaya çalışacağım. Bilim dünyasını sarsan ve keşfinin üzerinden 15 yıldan fazla bir süre geçen bu genle ilgili Türkçede yapılmış bilimsel bir çalışmaya maalesef rastlayamadım. Basit bir Google araştırmasında bile 270 binden fazla sayfa listelenirken bunlar içinde Türkçe ve bilimsel ölçülerle yazılmış bir metin -gazete haberleri dışında- yoktur. Sunacağım tanıtıcı bilgilerin Türkçe dilcilik literatürüne küçük de olsa bir katkısı olmasını umuyorum.

## Dilin Evrimi, Biyoloji ve Genetik

Canlı türlerinin veya bir maddenin kökeni konusunda bilim insanları daha net açıklamalar yapabilmektedirler çünkü fosil kayıtları ihtiyaç duyulan verileri sunmaktadır. Oysa dil, bu bakımdan çözülmesi zor bir problemdir. Çünkü dilin fosili yoktur. Dilin kökeni problemi farklı açılardan incelenmektedir. Burada ilk adım dili tanımlamaktır. Dilin ne olduğu, ayırıcı özellikleri doğru bir şekilde betimlenirse ortaya çıkışıyla ilgili olarak sağlıklı bir hedef konabilir. Dilin kökeni konusundaki ilk büyük ayrışma bu betimleme noktasında kendisini gösterir.

Başını N. Chomsky’nin çektiği bir gruba göre dil biyolojik bir olgudur. İnsanın dil geliştirebilmesi için beyinde bir mekanizmanın da bulunması gerekmektedir. Bu “dil aygıtı” da yalnızca insanda olduğu için insan dili ortaya çıkabilmiştir. Diğer canlılar böyle bir aygıtı sahip olmadığı için *çift eklemlilik*, *sözdizimi*, *özyineleme* gibi ayırıcı özellikleri olan bir dil geliştirememiştir.

İkinci gruptaki araştırmacılar ise dilin biyolojik değil, kültürel bir olgu olduğunu ileri sürdüler. Buna göre dil toplumsal yaşamın getirdiği, etki-tepki mekanizması ile çevrenin pay sahibi olduğu bir sonuçtur. İnsanın evrimiyle birlikte kültür ögesi olarak dil ortaya çıkmıştır (Bu iki kampın yaklaşımlarının ayrıntısı için bk. Johansson 2005, Fitch 2010, Kerimoğlu 2016).

Bu iki görüşün de haklı olduğu yönler vardır. Dil bu bakımdan melez bir olgudur. Biyolojik yönleri mutlaka olmalıdır. Çünkü insan zihninde dili geliştirecek bir mekanizma olmadan yalnızca kültürel etkileşimlerle dil gibi bir olgunun ortaya çıkması mümkün gözükmemektedir. Başka canlılarda da kültürel bir olgu olarak dilin

gelişmesi beklenirdi ancak bu, mümkün olmadığına göre insan biyolojisindeki bir farklılığın dilin ortaya çıkışında payı olmuştur gibi bir hipotez akla yatkın gelmektedir. Öte yandan çevre şartlarındaki değişimlerle kültürel etkileşim olmaksızın da dilin gelişmesi mümkün değildir. Bugünkü verilerle, dilin hem biyoloji hem de kültür ile ilgili bir olgu olduğunu söylemek çok da yanlış olmayacaktır.

Bu çalışma biyolojinin yalnızca bir yönüne -genlere- odaklanmaktadır. Fosil kayıtları üzerinden gırtlak yapısı, soluk borusunun durumu, ağız içinin gelişimi, beyin hacmi gibi insan biyolojisinin farklı yönleri köken açıklamalarında veri olarak kullanılmaktadır. İnsan biyolojisinin hangi yönlerinin dilin ortaya çıkışında etkili olduğu konusunda da son yıllarda derinlikli incelemeler yapılmaktadır. Beyin ve beyin evrimi, ayna nöronlar, genler bu bakımdan üzerinde en çok yoğunlaşılacak alanlardır. Beyin ve ayna nöronlar ile ilgili gelişmeleri sonraki çalışmalarımda ayrı ayrı ele alacağım. Ancak genetik incelemeleri dilin kökeniyle ilgili arayışlara 2000'li yıllardan sonra önemli katkılarda bulunmuştur. Konuşma bozukluğu sorunu olan veya farklı dilsel yetileri normal olmayan kişiler üzerinde yapılan genetik incelemeleri bazı genlerin dil konusunda aktif bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Öne çıkan genler ve temel özellikleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur:<sup>1</sup>

Gen adı	Protein adı	Memelilerdeki değerleri, ortalama	Kuşlardaki değerleri, ortalama	Birincil bozukluk <sup>1</sup>	Bozulan yetiler	İlgili yayın
ATP2C2	Calcium-transporting ATPase type 2C member 2 (ATPase 2C2)	0.114 (0.108, 0.120)	0.102 (0.094, 0.111)	DB	Dil	Newbury vd. (2009)
CMIP	C-Maf-inducing protein (c-Mip)	0.022 (0.018, 0.026)	0.023 (0.017, 0.031)	DB	Dil, okuma	Newbury vd. (2011), Scerri vd. (2011), Newbury vd. (2009)
CNINAP2	Contactin-associated protein-like 2	0.074 (0.070, 0.079)	0.076 (0.069, 0.084)	DB	Dil, okuma	Newbury vd. (2011), Vernes vd. (2008), Whitehouse vd. (2011)
DCDC2	Doublecortin domain-containing protein 2	0.222 (0.207, 0.238)	0.386 (0.361, 0.413)	GD	Okuma	Scerri vd. (2011), Deffenbacher vd. (2004), Schumacher vd. (2006)
DYX1C1	Dyslexia susceptibility 1 candidate gene 1 protein	0.228 (0.214, 0.242)	0.361 (0.333, 0.389)	GD	Okuma	Taipale vd. (2003), Paracchini vd. (2011)
<b>FOXP2</b>	<b>Forkhead box protein P2</b>	<b>0.034 (0.028, 0.042)</b>	<b>0.100 (0.080, 0.124)</b>	<b>DB</b>	<b>Dil, konuşma</b>	<b>Lai vd. (2001)</b>
KIAA0319	Dyslexia-associated protein KIAA0319	0.312 (0.301, 0.324)	0.237 (0.222, 0.252)	GD	Okuma, dil	Paracchini vd. (2011), Newbury vd. (2011), Scerri vd. (2011), Francks vd. (2004)
NFXL1	NF-X1-type zinc finger protein NFXL1	0.149 (0.141, 0.158)	0.139 (0.128, 0.152)	DB	Dil, konuşma	Villanueva (2015)
ROBO1	Roundabout homolog 1	0.054 (0.050, 0.058)	0.045 (0.040, 0.050)	GD	Okuma, dil	Hannula-Jouppi vd. (2005), Bates vd. (2011)
ROBO2	Roundabout homolog 2	0.052 (0.048, 0.057)	0.046 (0.040, 0.052)	GD	Dil	St Pourcain vd. (2014)

(Moizzi vd. 2016: 2)

<sup>1</sup> Tablodaki kısaltmaların açıklamaları:

*Birincil bozukluk:* Genle doğrudan ilgili olarak ortaya çıkan bozukluk türü.

*Bozulan yeti:* Gendeki varyasyonlara bağlı olarak ortaya çıkan yeti bozukluğu.

DB: Dil bozukluğu.

GD: Gelişimsel disleksi (okuma güçlüğü).

Tablodaki genler içinde bu çalışmanın konusu olan FOXP2 geninin keşfi, “davranışsal genetiğin (behavioral genetics) bir başarı hikâyesi” (Corballis 2004: 95) olarak büyük bir heyecan yaratmıştır. Çünkü bu genin dil ve konuşma ile ilgili özelliklerde temel rolü üstlendiği saptanmıştır. Genler, beyin ve dili birbirine bağlayan biyolojik “köprülerin” belirlenmesine yönelik incelemelerde FOXP2’nin öne çıktığı görülür (Fisher 2013). Bu genle ilgili çalışmalara geçmeden önce DNA, gen, kromozom gibi genetik ile ilgili kavramları hatırlatmakta fayda görüyorum.

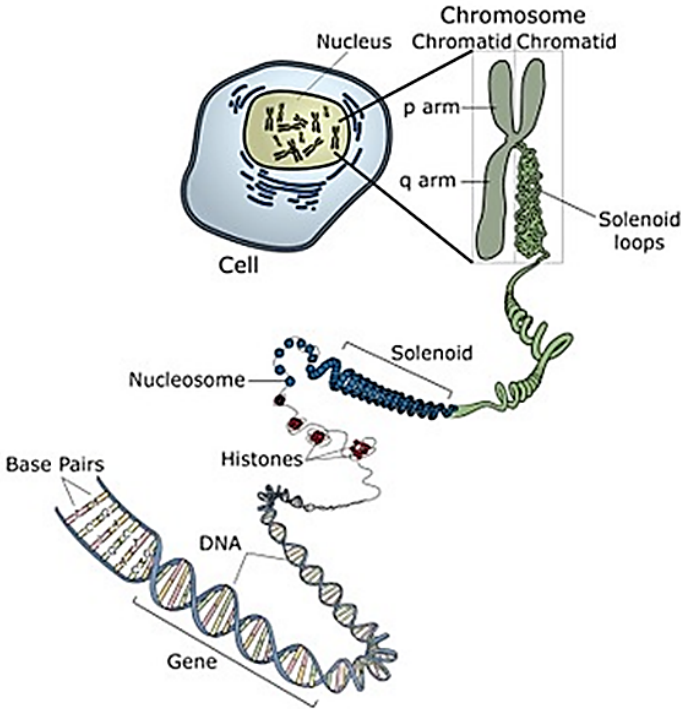
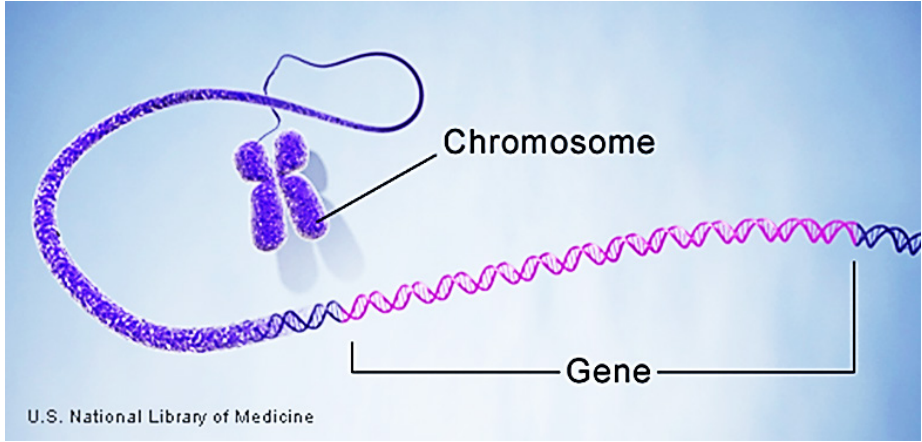


Image adapted from: National Human Genome Research Institute.

*Genetik* (Genetics) biyolojinin kalıtım ve çeşitlenme (variation) ile ilgilenen dalıdır. Bu anlamda dil gibi bir özelliğin izlenmesinde doğru adreslerden biridir. Kalıtımla aktarılan özellikler için *hücre* (cell) içinde yer alan; DNA, kromozom ve genleri de içeren *çekirdek* (nucleus) bölgesine odaklanmak gerekir. Çekirdek içinde histon adı verilen protein zinciri ve DNA’lardan oluşan, ipliksi bir yapısı olan *korozomlar* (chromosome) bulunur. Kromozomlarda yer alan *DNA* (deoxyribonucleic acid-deoksiribo nükleik asit) ise genetik bilgiyi depolayan moleküldür ve çift iplikli sarmal bir görünüşe sahiptir. Bu çift iplikli DNA sarmalının üzerindeyse canlıların kalıtımla ilgili özelliklerini taşıyıp ortaya çıkaran, kuşaktan kuşağa aktaran ve bunlarla ilgili proteinleri sentezlemekle görevli olan *gen* (gene) adı verilen bölgeler yer alır. Genler de kromozomların alt birimidir. İnsanda 46 kromozom vardır ve her kromozomda çok sayıda gen bulunur. Örneğin ele alacağımız FOXP2 geninin de yer aldığı 7 nolu kromozomda 1000’den fazla gen vardır.



(Görseller ve temel bilgiler için bk. U. S. National Library of Medicine <https://ghr.nlm.nih.gov/>)

2000’li yıllardan sonra dilin kökeni arayışlarında önemli başvuru ögelerinden biri olan FOXP2 geniyle ilgili yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar genin omurgalıların beynindeki etkileriyle sınırlı değildir ve insan konuşma dilinin hangi yapı üzerinde kurulduğunun tespiti için de ışık tutacak niteliktedir (Fisher-Scharff 2009: 176). Genetik ile ilgili temel kavramları hatırladıktan sonra FOXP2 geninin nasıl keşfedildiğini ve dil yetimizdeki rolünü görelim (Dil ve gen ilişkisi için McMahon-Mcmahon 2013: 148-188; Dediu 2015)<sup>2</sup>.

### FOXP2’nin Keşfi

FOXP2 geni, 1980’li yılların sonunda İngiltere’de yaşayan Pakistan kökenli bir ailede görülen konuşma ve dil bozuklukları araştırılırken keşfedilmiştir. Literatüre KE ailesi olarak geçen bu aile University London College’ye bağlı Çocuk Sağlığı Enstitüsünde 1990 yılından itibaren gözlenmeye başlanmıştır. Üç kuşaktan 30’a yakın aile bireyi gözlenmiş, yaklaşık yarısında çeşitli konuşma bozuklukları (dil ve ağız hareketlerinin kontrol edilememesi, sesleri ve sözcükleri tanıma zorlanma vb.) belirlenmiştir. Ailedeki bireylerin çoğu kekeliyor, sınırlı sayıda sözcük kullanabiliyordu. Özellikle ünsüzleri çıkarmakta zorluk yaşıyor, bazı ünsüzleri düşürüyordu (*blue* “mavi” için *bu*, *table* “masa” için *able* vb.). Aile bireylerinin zekâ ve duymalarında bir sorun olmamasına rağmen konuşmalarında görülen bu bozuklukların nedeni konusunda şüpheler genlerde yoğunlaştı. İlk kez 1987 yılında kan örnekleri alınmaya başlandı ve ilk raporlar genetik bir mirası doğruladı. 16 aile bireyi çeşitli anormallikler gösteriyordu. Kanadalı dilbilimci M. Gopnik ailedeki bozukluklara yol açan genin morfo-sentaktik özellikleri belirleyen bir “gramer geni” olabileceği hipotezini ortaya attı (bk. Gopnik 1990). Gramer geni fikri, elbette N. Chomsky’nin “içsel gramer” hipotezi için önemli bir kanıt sayılabilirdi. Ancak sinirbilim ve dilbilim uzmanı F. Vargha-Khadem’in

2 Dil üzerine çalışan bilim insanlarına yönelik olarak Dan Dediu tarafından yayımlanan yeni bir genetiğe giriş kitabından daha geniş bilgiler edinilebilir: D. Dediu (2015). *An Introduction to Genetics for Language Scientists: Current Concepts, Methods, and Findings*. Cambridge: Cambridge University Press.

öncülüğünde yapılan, 13 hasta birey ile 8 normal bireyin karşılaştırılmasını da içeren bir dizi araştırma sonucunda bu genin yalnızca dile dair yetileri değil, başka anatomik ve zekâ ile ilgili özellikleri de etkilediği 1995 yılında ortaya kondu. (Vargha-Kadem vd. 1995, Vargha-Khadem vd. 2005). Bu şekilde gramer geni hipotezi çürütülmüş oldu ancak söz konusu bozuklukların tamamen genetik kökenli olduğunun kanıtlanması büyük bir heyecan yarattı. Tomografi ve manyetik rezonans gibi görüntüleme araçlarıyla da aile bireylerinin beyin bölgelerinde de anormallikler belirlendi. Bu anormallikler yüz ve ağız hareketlerini kontrol eden bölgeler (*basal ganglia*) ile konuşma merkezi olarak bilinen Broca bölgesinde görülüyordu. Bu durum da hastalardaki dil ve dudak hareketlerindeki bozuklukları açıklıyordu (Vargha-Khadem vd. 1998). A. Monaco, S. Fisher ve F. Vargha-Khadem'in öncülüğünde dilbilim, nöroloji ve genetik uzmanlarından oluşan araştırmacılar bozuklukların görüldüğü hastalardan aldıkları DNA örnekleriyle genin 7 nolu kromozomda bulunduğunu ortaya koydular. Söz konusu gen 7 nolu kromozomun küçük bir bölgesinde (ki bu bölgede 70'ten fazla gen bulunuyordu) yer almaktaydı. Bu genin neden olduğu bozukluğun nesilden nesile aktarımı ise *otozomal baskın kalıtım*<sup>3</sup> (autosomal dominant inheritance) ile mümkün oluyordu (Fisher vd. 1998). Genin bulunduğu kromozom bölgesine İnsan Genomu Terim Komitesi tarafından resmi olarak SPCH 1 (*speech and language disorder-1* "konuşma ve dil bozukluğu 1") adı verildi. 2001 yılına gelindiğinde ise bu genin tespitinde bir dönüm noktası geçildi. Oxford'a bağlı Radcliffe Hastanesinde görev yapan J. Hurst, KE ailesinden olmayan fakat benzer konuşma bozuklukları gösteren bir çocuk (Literatürde CS olarak geçer) daha belirledi. Bu çocukta, 7 nolu kromozomdaki bir geni etkileyen açık bir kusur vardı. Bu kromozomun bir bölgesi kırılmıştı ve 5 nolu kromozoma eklenmişti. Kırılma noktası KE ailesinde tespit edilen sorunlu bölgenin tam ortasında yer alıyordu. Ayrıntılı incelemeler bu kırılma noktasının Fox *transkripsiyon faktörlerini* (transcription factors) kodlayan bir gen grubuna bağlı bir geni hasara uğrattığını ortaya koydu. KE ailesinden alınan örneklerde de 2500 DNA ünitesi arasında bu geni oluşturan bir ünite mutasyon tespit edildi. Bu şekilde KE ailesindeki ve CS'deki konuşma bozukluklarının sorumlusu olan gen belirlendi ve bu gene FOXP2 adı verildi. FOXP2, konuşma ve dil sorunlarında rol aldığı tespit edilen ilk gendir (Graham-Fisher 2012:1).

### FOXP2'nin Özellikleri

FOXP2 geninin dilin kökeninde ve gelişiminde temel rolü oynadığı, bu gende görülen mutasyonların konuşma ve dil bozukluklarına neden olduğu bu şekilde belirlendi (bk. Lai vd. 2001). FOXP2, İngilizce *Forkhead box 2* ifadesinin kısaltılmış biçimidir. İngilizcede *Fork* "çatal, iki kola ayrılmış, çatallaşmış", *head* "baş", *box* "kutu"

3 *Otozomal baskın kalıtım*: Bir gen çifti değişime (mutasyona) uğrarsa, diğer normal gen bazen bunu dengeleyebilir; ancak bu durum bütün genler için geçerli değildir. Bazı hastalıklara, bir otozomal genin bir kopyasındaki değişim (mutasyon) neden olur. Değişime uğrayan gen normal gen üzerinde hâkimiyet kurduğu için, bunlara baskın (dominant) hastalıklar adı verilir. Genleri değişime uğrayan insanlar çocuk sahibi oldukları zaman, her çocuğa ya normal geni ya da mutasyona (değişime) uğramış olan geni aktarırlar. Bu durum rasgele gerçekleşir; bu nedenle, çocuğun genin değişime uğramış olan kopyasını alıp hastalığa yakalanma olasılığı %50 veya 2'de 1'dir. Her gebelik için ve ayrıca erkek ve kız çocuklar için aynı olasılık söz konusudur. Ayrıca çocuğun genin normal kopyasını alma olasılığı da yine %50 veya 2'de 1'dir. Bu durumda, çocuk hastalıktan etkilenmez ve bunu çocuklarına aktarmaz. (<http://www.geneticalliance.org.uk/docs/translations/turkish/1-dom-she-t-turkish.pdf>).

anlamındadır. *Forkhead box* sözcüklerinin birleşimi için FOX kısaltması kullanılır. Forkhead transkripsiyon faktörü gen ailesinin tespit edilen ilk örneği meyve sineği embriyolarındaydı ve çatalı bir görünüme sahipti. İlk gene tırnaklı, çatalı görünümü nedeniyle bu isim verildi. FOX gen ailesinde pek çok gen vardır ve bunlar alfabetik olarak A'dan başlayarak adlandırılır: FOX A1, FOX B1 vb. Söz konusu gen P kolunda ikinci olarak tespit edildiği için FOX P2 adını almıştır (Marcus-Fisher 2003). Fox ailesi hücre büyümesinden embriyonik gelişime kadar pek çok değişimde rol oynar. FOXA1, FOXA2, FOXC1, FOXHG1 gibi 40'tan fazla Fox proteini vardır ve bunların yerleşimleri ve özellikleri belirlenmiştir (bk. Katoh-Katoh 2004, Hannehalli-Kaestner 2009).

Erken beyin gelişiminin normal bir şekilde devam edebilmesinde FOXP2 geninin hayatı öne sahip olduğu, bu gende ortaya çıkacak çok küçük bir mutasyonun bile dil gibi karmaşık bir yetiyi bozmaya yetebileceğinin kanıtlanması sıra dışı bir sonuçtu. Her insanda her genin iki kopyası bulunmaktadır, ancak KE ailesinde ve CS'de FOXP2 geninin kopyalarından biri mutasyona uğramıştı ve bu, beyin gelişiminde büyük bir hasara yol açmıştı. Bu hasar sonucunda bireylerde uzun kompleks cümleleri anlamakta zorlanma, gerçek sözcükler ile sözcük olmayanları ayırma güçlüğü, sesbirimleri değiştirme, sözcük olmayan dizileri konuşma ve okuma gibi dil bozuklukları görülmüştü. Şimdi FOXP2'nin özelliklerini basamaklar hâlinde ilerleyerek sıralayalım.

- FOXP2 geni 7 nolu kromozomun uzun kolunda (q) 31 nolu pozisyonda (7q31) bulunmaktadır.
- FOXP2 geni Fox alanını kaplayan proteinleri üreten bir gen grubuna bağlıdır.
- Fox proteinleri hücrelerin genetik programlarının kontrolüyle ilgili olan ve transkripsiyon faktörleri adı verilen daha büyük bir ailenin alt gruplarından biridir.
- Transkripsiyon faktörleri DNA'daki genetik bilgiyi okuyup yorumlayan protein gruplarıdır. Transkripsiyon faktörleri bir organizmanın hücrelerine yapı ve işlev bakımından çeşitlenme imkânı sunar. Organizmanın gelişimi ile iç ve dış ihtiyaçları karşılamada görev üstlenirler. Örneğin PAX6 transkripsiyon faktörü göz gelişiminde hayatı bir rol üstlenir. Meyve sineğinin anteninde PAX6'nın katkısıyla fazladan bir göz gelişmiştir. Burada PAX6 göz inşa etmek için bir plana sahip değildir ancak çok sayıda geni harekete geçirerek fazladan gözün oluşumunu desteklemiştir.
- FOXP2 geni diğer aile bireyleri gibi birden fazla işlev görür. PAX6 yalnızca göz gelişiminde rol almaz, aynı zamanda merkezî sinir sisteminin gelişiminde de rol alır. Burada genlerin kopyalanması veya kopyalamanın dozajı önem taşır. FOXP2 geni konuşma dilinin edinimiyle ilgili nöral alt sistemlerin üretiminde ve beyin gelişiminde rol alır. Ayrıca akciğer, mide ve kalbi de içecek şekilde embriyo gelişiminde pay sahibidir.
- İnsan genomu ikilidir (diploid). Her genin biri anneden biri babadan olmak üzere iki kopyası vardır. Eğer bu kopyalardan yalnızca birinde bir hasar varsa bunun yarattığı sorunlar farklıdır. Örneğin KE ailesinde bu kopyalardan yalnızca birinde mutasyon vardı. Bu nedenle bireylerin FOXP2 geninin rol

aldığı diğer gelişimlerinde bir sorun yokken (zekâ seviyesi, akciğer, kalp gelişimi vb.) beynin konuşmayla ilgili gelişiminde sorun vardır (Marcus-Fisher 2003).

- g. FOXP2 insan dışındaki canlılarda da vardır. Ancak insandaki FOXP2 geni diğer canlılardakinden farklılık gösterir.
- h. Bugüne kadar tamamen FOXP2 kaybına uğramış bir insan tespit edilememiştir. Kısmî mutasyonların yarattığı bu dil bozuklukları insana özgüdür. Diğer canlılarda ölümcül sonuçlar gözlenmiştir. Örneğin fare deneylerinde FOXP2 kaybına uğramış deneklerin çeşitli motor bozukluklar sergilediği, gelişimin kısıtlandığı, doğumdan birkaç hafta sonra ölümlerin görüldüğü belirlenmiştir (Graham-Fisher 2012: 1).
- i. Kadınlarda FOXP2 geninin daha aktif olduğunu gösteren çalışmalar vardır. Kadınlardaki konuşma becerisinin yüksekliği bu durumla açıklanmaktadır (Pennisi 2013).

FOXP2'nin pay sahibi olduğu farklı özellikler de tartışılmaktadır ancak şimdi asıl konumuz olan, bu genin dilin kökeni arayışlarındaki önemine gelelim (Genle ilgili ölçümler ve ayrıntılı betimlemesi için bk. [http://www.genenames.org/cgi-bin/gene\\_symbol\\_report?hgnc\\_id=13875](http://www.genenames.org/cgi-bin/gene_symbol_report?hgnc_id=13875)). Genin tespiti sonrasında akla hemen dilin evrimiyle ilgili sorular geldi: Bu gen ilk defa ne zaman ortaya çıktı? Homo türünün fosil kayıtları içinde yeri neresidir? Evrimsel olarak insana yakın canlılardaki görünümü nasıldır? Dilin hangi yönlerine katkısı olmuştur? Bunlara benzer sorularla yola koyulan araştırmacılar önemli sonuçlara ulaşmışlardır. Şimdi bu sonuçları görelim.

### **Dilin Kökeni Arayışlarında FOXP2**

Yukarıdaki soruların cevaplarını maddeler hâlinde sunacağım bir literatür özetiyle vermeye çalışacağım:

- a. FOXP2 geninin dil ile ilgili yetilerdeki payı Lai vd. (2001) tarafından belirlenmiştir. Daha sonra yapılan farklı genetik çalışmalarında da bu genin dilin gelişimindeki payı teyit edilmiştir (bk. Graham-Fisher 2012). Laboratuvar çalışmalarına dayalı gen incelemelerinin yanısıra kuramsal dilbilimcilerce de bu genin dilin inşasındaki rolü vurgulanmaktadır. Örneğin Berwick-Chomsky (2016: 40) FOXP2 geninin sese dayalı öğrenme ve üretme gibi alanları içeren duyu-motor arayüzünün (sensorimotor interface) inşasında rol alan sistemin birincil parçalardan olduğunu ifade eder.
- b. FOXP2 geni insan dışı canlılarda da bulunmaktadır, tüm omurgalılarda (vertebrates) özellikle de memelilerde iyi korunmuştur (Enard vd 2002, Graham-Fisher 2012). Türler arası gen karşılaştırmaları ya DNA dizilişlerine ya da genlerin kodladığı aminoasit dizilişlerine göre yapılmaktadır. FOXP2 geni 715 aminoasit uzunluğunda protein zinciri kodlar. Fare ve şempanzedeki FOXP2 genleri karşılaştırıldığında aralarında tek bir fark olduğu görülür. İnsan FOXP2 geni farelerdeki FOXP2 geninden 3 yerde, ortak atadan geldiği şempanze ve bonobo FOXP2 geninden ise yalnızca 2 yerde farklılık gösterir



(Yani, 2 amino asit fazla kodlar)<sup>4</sup>. Gendeki bu mutasyonların da son 200 000 yıl içinde gerçekleştiği Enard vd. (2002) tarafından belirlenmiştir. Bu veri -Enard vd. (2002) tarafından da ileri sürüldüğü üzere- modern insanın (*homo sapiens*) evriminde FOXP2 geninin payı olduğu görüşüne dayanak teşkil eder.

Balık, sürüngen, kuş, kemirgen ve insan gibi farklı omurgalıların benzer beyin bölgelerinde (beyincik, talamus, striatum vb.) FOXP2'nin ortaya çıkardığı düzenlemeler bakımından da bir uyum vardır (Fisher-Marcus 2006: 17). Bu genin çeşitli canlılardaki (şempanze, fare, kuşlar, deniz memelileri vb.) görünümü üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Hayvanlardaki iletişim ile ilgili çalışmalar hakkında daha ayrıntılı bilgileri başka bir makalede sunacağım ("Dilin Kökeni Arayışları III: Hayvan İletişimi"). Burada FOXP2 ve hayvan iletişimi arasında üzerinde sık durulan bir noktaya yoğunlaşmak istiyorum: *sese dayalı öğrenme* (vocal learning). Pek çok tür içsel ve kendisine özgü seslenmelere sahiptir. Ancak çok az tür akralarının taklidiyle yeni ses çıkarma biçimlerini öğrenir. Bunlar içinde üç kuş türü (papağan, sinekkuşu, çitkuşu) ile üç memeli türü (insan, deniz memelileri, yarasasalar) taklit ile sese dayalı öğrenme bakımından ayrılır (Fisher-Marcus 2006: 17).

Literatüre bakıldığında fare ve kuş türlerindeki FOXP2 geninin görünümü ve bu türlerdeki sese dayalı öğrenme konusunda dikkat çekici sonuçlara ulaşıldığı görülür (Diğer türler için de şu çalışmalar başlangıç olarak okunabilir: Deniz memelileri için bk. Janik 2014, yarasalar için Li vd. 2007).

Farelerde yapılan laboratuvar çalışmaları limitli de olsa sese dayalı öğrenmenin olduğunu göstermiştir. Fare yavruları anne-yavru iletişimi için önemli olan (hem duyulabilir hem de ultrasonik düzeyde) içsel seslenmelerde bulunabilirken erkek fareler karşılaştıkları dişi fareler ve onların feromonları ile ilgili ultrasonik sesler çıkarmaktadır (Fisher-Marcus 2006: 18). Holy-Guo (2005) şarkı karakteristiğine sahip, belli kalıplarla üretilmiş ayrı hece tipleri barındıran zengin bir seslenme örneğini yetişkin bir erkek farede tespit etmiştir. Kuş şarkılarına benzer bir nitelik sergileyen bu seslenmelerin tespiti çok sıra dışı bir olgudur. Burada söz konusu şarkıların içselliği veya taklit yoluyla öğrenilerek edinilmiş olması konusu önem kazanmaktadır. Son yıllarda farelerde de taklit yoluyla sese dayalı öğrenme olduğu yönünde önemli sonuçlara ulaşılmıştır (Kikusul vd. 2011, Hammerschmidt vd. 2012, Arriaga vd. 2012). Bu sese dayalı öğrenmeler ile FOXP2 geni arasındaki ilişki konusunda ise farklı görüşler mevcuttur. Bazı bilim insanları FOXP2 geninin kaybının yavrulardaki ultrasonik seslenmeleri hasara uğrattığını ileri sürmektedir (Shu vd. 2005). Bir grup bilim insanı ise bu kaybın ikincil olduğunu ve farklı etkenler sonucu bozulmaların ortaya çıktığını, FOXP2 geninin iki kopyasında hasar bulunan yavruların ses repertuarında bile bir değişiklik olmadığını savunmaktadır (Groszer vd. 2008). 2009 yılında Wolfgang Enard öncülüğünde bir grup araştırmacının yaptığı deneyde ilgi çekici sonuçlara

4 63 şempanze, 11 bonobo, 48 goril, 37 orangutan ve 2 gibbonu kapsayan büyük kuyruksuz maymunlar ile ilgili son yayında FOXP2 varyasyonlarının iletişim becerilerinin evrimine dair fikir verebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Staes vd. 2017).

ulaşıldı. Bu deneyde insana özgü FOXP2 genindeki değişiklikler farelere aktarıldı. İnsan FOXP2 genine sahip olan farelerin iletişimde değişiklikler saptandı. Bu farelerin ses rengi ve beyin gelişimi farklılaştı. Çalışma FOXP2 geninin insan dilinin evriminde önemli bir etken olduğunu farklı bir yöntemle göstermesi bakımından önemli bir aşamadır (bk. Enard vd. 2009).

Kuşlarda sese dayalı öğrenmenin olduğu bilinmektedir (bk. Scharff- Petri 2011, Langus vd. 2013). Kuş şarkıları genellikle yavruların yetişkin bir kuşu taklit etmesiyle öğrenilmektedir. Ancak bu öğrenme sürecinin beyinde striatum (*striatum*) adı verilen bir bölgeye bağlı olarak geliştiği ve striatumun X Alanı'nda (Area X) öğrenme süreci boyunca FOXP2 düzeyinin gelişimsel olarak arttığı, erkek kuşların dişi kuşlara yönelik seslenmelerinde de FOXP2 düzeyinin yükseldiği, FOXP2 geni alınan kuşlarda ses taklidinin başarısız olduğu Avustralya'ya özgü bir kuş türü (*zebra finch*) üzerinde yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (Haesler vd. 2004, Haesler vd. 2007, Teramitsu-White 2006, Graham-Fisher 2012, Scharff-Thompson 2013). Haesler vd. (2004: 3174) çeşitli çitkuşu türleri üzerinde yaptığı incelemelerde FOXP2'nin sese dayalı öğrenme gösteren çitkuşlarının beyin yapısında önemli pay sahibi olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Bilim insanları arasında farklı türlerdeki bu seslenmelerin modern konuşma dili için davranışsal bir alt katman olabileceği yönünde güçlü bir eğilim vardır. Çünkü kuş ve memeli türlerinde gözlenen sesi tanıma, taklit etme, bireylere özgü ses ünitelerini yeni bir kombinasyonda sıralamayı öğrenme konuşma dili için önemli aşamalardan biridir. "FOXP2 geninin kuş, balık, memeli ve sürüngenlerdeki benzerlikleri ortadadır. Çeşitli türlerde bugün tespit ettiğimiz FOXP2 genleri başlangıçta tek bir ortak ata FOXP2 geninden geldi, bu ata FOXP2 geni tüm türlerde nörogelişimsel (neurodevelopmental) işlevler için gereklidir. Bu gen duyuşsal bilgi ve duyu-motor beceriler ile ilgili olduğu için bu türlerde söz konusu alanlar diğer canlılara göre daha çok gelişti." şeklinde özetleyebileceğim bir hipotezin doğruluğu araştırılmaktadır.

- c. Darwin insanın davranışsal ve bilişsel özelliklerinin -olağan üstü dil kapasitesi de bu özelliklerden biridir- ancak modifikasyonlar ile gelişen insan türünün ürünü olarak ele alındığında açıklanabileceği yönünde bir görüşe sahipti ve FOXP2'nin, insanın ve dilin evrimi ile ilgili gen çalışmaları bilim dünyasını bu görüşe yaklaştırmaktadır (Fisher-Marcus 2006: 9).

Dil için bu modifikasyon FOXP2 geniyle ilgili olabilir mi sorusu bugün araştırılan konuların başında gelmektedir. Enard vd. (2002) FOXP2'nin evrimsel analizini yapmış, insana özgü iki aminoasit (N303, S325) değişiminin olduğunu tespit etmiştir. İnsana özgü FOXP2 genindeki bu iki aminoasit değişiminin insanlar ile şempanzelerin son ortak atasından sonraki ayrılımla ortaya çıktığı belirlenmiş ve insandaki sözlü iletişim becerilerinin gelişmesinde bu iki değişikliğin etkisi olduğu yönünde de bir hipotez ortaya atılmıştır (Enard vd. 2002, Enard 2011; Bu yöndeki son bir inceleme için bk. Reimers-Kipping vd. 2011.). Enard vd. (2002) FOXP2 genindeki değişimin primat evriminin son aşamalarında pozitif seçim sonucunda insan türü için

gelişen bir *seçici süpürme* (selective sweep) özelliği gösterdiğini belirtir.<sup>5</sup> Zhang vd. (2002) ve Spiteri vd. (2007) de benzer bir sonuca ulaşmıştır. Bu modele göre gendeki bu değişim popülasyon içinde seçim değerini ve uyum başarısını artırmış, değişimi yaşayan varyantlar (aleller) popülasyon içinde daha sık görülmeye başlanmıştır. Bu genin evrimiyle insanın bilişsel becerilerinin gelişmesi arasında bir bağ olduğu yönünde güçlü bir eğilimden söz etmek mümkündür.

Fare, şempanze ve insandaki FOXP2 proteinlerinin tarihlendirilmesi de yukarıda sözü edilen değişimler üzerinden Enard vd. (2002: 870) tarafından yapılmıştır. İnsan ve fare türlerinin ayrılması 70 milyon yıl önce gerçekleşmiştir (bk. Kumar-Hedges 1998). İnsan ve şempanzenin ortak atasını fareden ayıran yaklaşık 130 milyon yıllık evrim süresince FOXP2 proteininde yalnızca bir aminoasit değişimi ortaya çıkmıştır. İnsan ve şempanzenin ortak atadan ayrılması yaklaşık 4.6-6.2 milyon yıl önce gerçekleşmiştir. Ayrım sonrası insan türünün FOXP2 proteininde iki aminoasit değişimi ortaya çıkarken diğer primat türlerinde bir değişim olmamış, primatlar içinde orangutanlarda bir değişim gerçekleşmiştir.

Enard vd. (2002) ve Zhang vd. (2002) insana özgü FOXP2 geninin insan türünün konuşmasında ve dilbilimsel yetilerinin gelişmesinde payı olduğunu fare, şempanze ve insan (*homo sapiens*) fosilleri üzerinde yapılan karşılaştırmalı matematiksel analizler ve bilgisayar simülasyonları yardımıyla sunar. Ayrıca bu araştırmalar FOXP2 geninin insandaki oluşumunu son 200 000 yıl içinde tamamladığını ortaya koymaktadır<sup>6</sup> ki bu da insan türünün konuşmasının tarihlendirmesiyle ilgili çalışmalarda ortaya konan tarihle uyumludur (Marcus-Fisher 2003). Bilindiği üzere modern konuşmanın ortaya çıkışıyla ilgili tahminler 150 000 – 200 000 yıl öncesinde yoğunlaşmaktadır<sup>7</sup>.

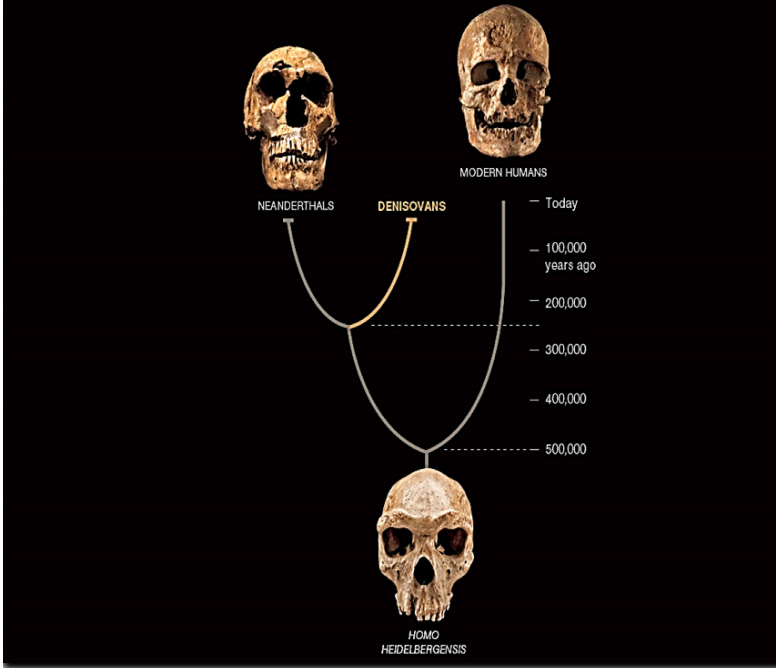
İnsan FOXP2 geninde iki aminoasit değişiminin Neandertal türünde de tespit edilmesi (bk. Krause vd. 2007) insan türlerinin dil yetileri, dilin kökeni ve ortaya çıkma zamanı konusundaki tartışmaları alevlendirmiştir. İnsan soy çizgisini elimizdeki fosil verilerine göre takip ettiğimizde modern insana (*homo sapiens*) en yakın iki insan türü olan Neandertal ve Denisovan genleri de yeni görüşlere dayanak teşkil etmiştir. Bilindiği üzere modern insanın Neandertallerle Afrika'da ortak bir atadan (*homo heidelbergensis*) yaklaşık 600.000 yıl önce ayrıldığı düşünülmektedir. 2008 yılında Altay Dağlarında

5 İnsanlarda dilin evrimi için pozitif seçilimin çok önemli olduğu yönündeki bu açıklamaya bazı araştırmacılar katılmazlar. Örneğin Scharff-Haessler (2005) sese dayalı öğrenme olan türler (Örn. kuşlar) ile bu türlerin FOXP2 genlerindeki mutasyonlar arasında sıkı bir bağa rastlamamıştır. Berwick-Chomsky (2016: 154, 169) de seçilimin DNA varyasyonlarını ayarlamasına dayanan ve Enard vd. (2002) tarafından önerilen bu seçici süpürme modeline -altını çöplerden ayıran bir elek metaforunu kullanarak- mesafeli yaklaşır.

6 Bu tarihlendirmenin büyük oranda kabul gördüğünü söylemek mümkündür ancak farklı tarihlerden söz eden araştırmacılar da vardır. Örneğin Diller-Cann (2009) genom araştırmalarının FOXP2'deki söz konusu mutasyonların oluşumu için 1.8 veya 1.9 milyon yıl öncesine işaret ettiğini, bu oluşum zamanının *homo sapiens* türünden ve modern konuşmadan önceki dönemler ile ve muhtemelen de *homo* türünün ilk ortaya çıkışıyla uyumlu olduğunu savunur.

7 Son bir tahmin Berwick-Chomsky (2016: 156-157) tarafından yapılmıştır. Buna göre konuşma, anatomik olarak ilk insanın Güney Afrika'da ortaya çıkması (yaklaşık 200 000 yıl önce) ile insan topluluklarının Afrika'dan diğer kıtalara doğru yaptığı son büyük göç (yaklaşık 60 000 yıl önce) arasında bir zaman diliminde, muhtemelen 130 000 yıl önceye tarihlenir.

Denisova mağarasında keşfedilen bir başka homo türü olan Denisova insanının da Neandertallerle ortak bir koldan geldiği belirlenmiştir.



(<http://ngm.nationalgeographic.com/2013/07/125-missing-human-ancestor/family-tree-graphic>)

Enard vd. (2002)'nin ilk bulguları modern insan ve Neandertal ayrılmasından çok sonra yaklaşık 200.000 yıl önce FOXP2 geninin seçiliminin gerçekleştiğini haber veriyordu. Krause vd. (2007) ise Neandertal FOXP2 geninde de iki aminoasit değişiminin olduğunu belirledi. Bu bulgu, modern insan ve Neandertallerin melezleşmediği, ortak atalarında 300.000 yıldan da önce FOXP2 geninin seçiliminin gerçekleştiği yönünde farklı bir görüşe dayanak oluşturdu. Bu konuda tartışmalar devam etmektedir (Tartışma örneklerinden biri için bk. Coop vd. 2008). Son yıllardaki dikkate değer verilerden biri Maricic vd. (2013) tarafından bilim dünyasına sunuldu. Bu çalışma, Neandertal ve Denisovanlardaki FOXP2 geninin farklı olduğunu ortaya koydu. Buna göre modern insan topluluklarındaki FOXP2 genindeki düzenleyici bir değişim tamamlanmıştı ancak bu değişim Neandertal ve Denisovanlarda yoktu. Buna dayanarak Maricic vd. (2013), modern insanın (*homo sapiens*) FOXP2 genindeki düzenleyici varyantların ve kodlama kombinasyonlarının konuşmanın gelişiminde rol oynadığını ileri sürdü. (Neandertallerin ve modern insanın dil kapasitesi ile ilgili karşılaştırmalar popüler tartışma alanlarından biridir, bu tartışmaları başka bir çalışmamda ele alacağım. Bu tartışmalara örnek olması için bk. Berwick-Hauser-Tattersall 2013, Dedi-Lewinson 2013, Johansson 2014).

## Sonuç

Dil çok boyutlu bir olgudur. Beyin, soluk borusu, el ve yüz hareketleri, ses, sözdizimi, anlam gibi daha sayamadığım pek çok ögenin yer aldığı insana ait belki de en ayırıcı özelliştir. Böyle bir özelliğin inşasında tek bir genin sorumlu olduğu yönünde bir iddia yoktur. Ancak tek bir genin bu çok boyutlu olgunun hangi yönlerinde katkısı olduğunun tespiti bile çok büyük bir ilerlemedir. İncelemenin sonunda FOXP2 ile ilgili olarak yapılan bu çalışmaların dilin betimlenmesi ve evrimindeki öne çıkan sonuçlarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

İnsan biyolojik bir varlıktır. İnsana ait özelliklerin biyolojik-genetik temelleri vardır ve bu özelliklerden biri olan dilin de biyolojik temellerinin olması gerekir.

Dil yetisi ve genler arasında belirli bir bağ olduğu, konuşma sorunu yaşayan hastalar üzerinde yapılan incelemelerde tespit edilmiştir.

Genler içinde FOXP2 geninin dil ile ilgili özellikleri etkileme bakımından ayrı bir yeri vardır ve dilin kökeni tartışmalarında bu gene yoğunlaşmıştır.

İnsandaki FOXP2 geninin bugünkü hâlini alması ile modern insanın anatomik olarak ortaya çıktığı tarih birbiriyle uyumludur. Tartışma farklı açılardan devam etmekle birlikte, modern konuşmanın yaklaşık 150 000 - 200 000 yıl öncesine gittiği yönündeki tahminler FOXP2 araştırmalarının sonuçlarıyla da desteklenmektedir.

## Kaynakça

- ARRIAGA G. vd. (2012). "Of Mice, Birds, and Men: The Mouse Ultrasonic Song System has Some Features Similar to Humans and Song-learning Birds". *PLoS ONE*, S. 7, e46610.
- BATES, T. C. vd. (2011). "Genetic Variance in a Component of the Language Acquisition Device: ROBO1 Polymorphisms Associated with Phonological Buffer Deficits". *Behavior Genetics*, S. 41, s. 50-57.
- BERWICK, R. C. - HAUSER, M. D. - TATTERSALL, I. (2013). "Neanderthal Language? Just-so Stories Take Center Stage". *Frontiers in Psychology*, S. 4, s. 671.
- BERWICK, R. - CHOMSKY, N. (2016). *Why Only Us. Language and Evolution*. Cambridge-London: The MIT Press.
- BOLHUIS, J. – EVERAERT, M. (ed.) (2013). *Birdsong, Speech, and Language. Exploring the Evolution of Mind and Brain*. Massachusetts: The MIT Press.
- COOP, G. vd. (2008). "The Timing of Selection at the Human FOXP2 Gene". *Molecular Biology and Evolution*, S. 25, s. 1257-1259.
- CORBALLIS, M. C. (2004). "FOXP2 and the Mirror System". *Trends in Cognitive Science*, S. 8/3, s. 95-96.
- DEDIU, D. - LEVINSON, S. C. (2013). "On the Antiquity of Language: The Reinterpretation of Neandertal Linguistic Capacities and Its Consequences". *Frontiers in Psychology*, S. 4, s. 397.
- DEDIU, D. (2015). *An Introduction to Genetics for Language Scientists: Current Concepts, Methods, and Findings*. Cambridge: Cambridge University Press.
- DEFFENBACHER, K. E. vd. (2004). "Refinement of the 6p21.3 Quantitative Trait Locus Influencing Dyslexia: Linkage and Association Analyses". *Human Genetics*, S. 115, s. 128-138.
- DILLER, K. C. - CANN, R. L. (2009). "Evidence against a Genetic-based Revolution of Language 50,000 years ago". *The Cradle of Language* [R. Botha-C. Knight (ed.)]. New York: Oxford University Press, s. 135-149.
- ENARD, W.- PRZEWORSKI, M. - FISHER, S. - LAI, C. - WIEBE, V. - KITANO, T.- MONACO, A.- PAABO, S. (2002). "Molecular Evolution of FOXP2. A Gene Involved in Speech and Language". *Nature*, S. 418, s. 869-872.

- ENARD, W. vd. (2009). "A Humanized Version of Foxp2 Affects Cortico-basal Ganglia Circuits in Mice". *Cell*, S. 137, s. 961-971.
- FISHER, S. - VARGHA-KHADEM, F. – WATKINS, K – MONACO, A. - PEMBREY, M. (1998). "Localisation of a Gene Implicated in a Severe Speech and Language Disorder". *Nature Genetics*, S. 18 (2), s. 168-170.
- FISHER, S. E. - MARCUS, G. F. (2006). "The Eloquent Ape: Genes, Brains and the Evolution of Language". *Nature Reviews Genetics*, S. 7, s. 9-20.
- FISHER S. E - SCHARFF C (2009). "FOXP2 as a Molecular Window into Speech and Language". *Trends in Genetics*, S. 25, s. 166-177.
- FISCHER, S. (2013). "Building Bridges between Genes, Brains, and Language". *Birdsong, Speech, and Language. Exploring the Evolution of Mind and Brain* [J. Boulhuis – M. Everaert (ed.)]: Massachusetts: The MIT Press, s. 425-454.
- FITCH, W. T. (2010). *The Evolution of Language*. Cambridge: Cambridge University Press.
- FRANCKS, C. vd. (2004). "A 77-kilobase Region of Chromosome 6p22.2 is Associated with Dyslexia in Families from the United Kingdom and from the United States". *American Journal of Human Genetics*, S. 75, s. 1046-1058.
- GRAHAM, S. A. - FISHER, S. E. (2012). "Decoding the Genetics of Speech and Language". *Current Opinion in Neurobiology*, S. 23, s. 43-51.
- GROSZER, M. vd. (2008). "Impaired Synaptic Plasticity and Motor Learning in Mice with a Point Mutation Implicated in Human Speech Deficits". *Current Biology*, S. 18, s. 354-362.
- GOPNIK, M. (1990). "Feature-blind Grammar and Dysphasia". *Nature*, S. 344, s. 715.
- HAESLER, S. vd. (2004). "FoxP2 Expression in Avian Vocal Learners and Non-learners". *The Journal of Neuroscience*, S. 24, s. 3164-3175.
- HAESLER, S. vd. (2007). "Incomplete and Inaccurate Vocal Imitation After Knockdown of FoxP2 in Songbird Basal Ganglia Nucleus X". *PLoS Biology*, S. 5 (12), e321.
- HAMMERSCHMIDT, K. (2012). "Mice do not Require Auditory Input for the Normal Development of their Ultrasonic Vocalizations". *BMC Neuroscience*, S. 13, s. 40.
- HANNENHALLI, S - KAESTNER, K. (2009). "The Evolution of Fox Genes and their Role in Development and Disease". *Nature Reviews Genetics*, S. 10, s. 233-240
- HANNULA-JOUPPI, K. vd. (2005). "The Axon Guidance Receptor Gene ROBO1 is a Candidate Gene for Developmental Dyslexia". *PLoS Genetics*, S. 1, e50.
- HOLY, T. E. - GUO, Z. (2005). "Ultrasonic Songs of Male Mice". *PLoS Biology*, S. 3, e386.
- JANIK, V. M. (2014). "Cetacean Vocal Learning and Communication". *Current Opinion in Neurobiology*, S. 28, s. 60-65.
- JOHANSSON, S. (2005). *Origins of Language: Constraints on Hypothesis*. Amsterdam-Philadelphia: John Benjamins.
- JOHANSSON, S. (2014). "Neanderthals Did Speak, but FOXP2 Doesn't Prove It". *Behavioral and Brain Sciences*, S. 37, s. 558-559.
- KATOH, M. - KATOH, M. (2004). "Human FOX Gene Family". *International Journal of Oncology*, S. 25/5, s. 1495-1500.
- KERİMOĞLU, C. (2016). "Dilin Kökeni Arayışları I: Dilin Kökeniyle İlgili Akademik Tartışmalar". *Dil Araştırmaları*, S. 18, s. 47-84.
- KIKUSUI, T. vd. (2011). "Cross Fostering Experiments Suggest That Mice Songs are Innate". *PLoS ONE*, S. 6, e17721.
- KRAUSE, J. vd. (2007). "The Derived FOXP2 Variant of Modern Humans was Shared with Neandertals". *Current Biology*, S. 17, s. 1908-1912.

- KUMAR, S. - HEDGES, S. B. (1998). "A Molecular Timescale for Vertebrate Evolution". *Nature*, S. 392, s. 917-920.
- LAI, C. - FISHER, S. - HURST, J. - VARGHA-KHADEM, F. - MONACO, A. (2001). "A Forkhead-Domain Gene is Mutated in a Severe Speech and Language Disorder". *Nature*, S. 413, s. 519-523.
- LANGUS, A. - PETRI, J. - MARINA, N. - SCHARFF, C. (2013). "FoxP2 and Deep Homology in the Evolution of Birdsong and Human Language". *The Evolutionary Emergence of Language Evidence and Inference. Studies in the Evolution of Language* [R. Botha - M. Everaert (ed.)]. Oxford: Oxford University Press, s. 223-243.
- LI, G. - WANG, J. - ROSSITER S. J - JONES, G. - ZHANG, S. (2007). "Accelerated FoxP2 Evolution in Echolocating Bats". *PLoS ONE* S. 2/9, e900.
- MARICIC, T. vd. (2013). "A Recent Evolutionary Change Affects a Regulatory Element in the Human FOXP2 Gene". *Molecular Biology and Evolution*, S. 30, s. 844-852.
- MARCUS, G. F. - FISHER, E. S. (2003). "FOXP2 in Focus: What Can Genes Tell Us about Speech and Language?". *Trends in Cognitive Sciences*, S. 7/6, s. 257-263.
- McMAHON, A. – MacMAHON, R. (2013). *Evolutionary Linguistics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MOZZI, A. - FORNI, D. - CLERICI, M. - POZZOLI, U. - MASCHERETTI, S. - GUERINI, F. R. - RIVA, S. - BRESOLIN, N. - CAGLIANI, R. - SIRONI, M. (2016). "The Evolutionary History of Genes Involved in Spoken and Written Language: Beyond FOXP2". *Nature Scientific Reports*, S. 6-22157, s. 1-9.
- NEWBURY, D. F. vd. (2009). "CMIP and ATP2C2 Modulate Phonological Short-term Memory in Language Impairment." *American Journal of Human Genetics*, S. 85, s. 264-272.
- NEWBURY, D. F. vd. (2011). "Investigation of Dyslexia and SLI Risk Variants in Reading- and Language-impaired Subjects". *Behavior Genetics*, S. 41, s. 90-104.
- PARACCHINI, S. vd. (2011). "Analysis of Dyslexia Candidate Genes in the Raine Cohort Representing the General Australian Population". *Genes, Brain and Behavior*, S. 10, s. 158-165.
- PENNISI, E.(2013). "'Language Gene' Has a Partner". *Science*. 31 Ekim 2013 - 30 Ekim 2014.
- REIMERS-KIPPING S. - HEVERS W. - PÄÄBO S. - ENARD W. (2011). "Humanized Foxp2 Specifically Affects Cortico-basal Ganglia Circuits". *Neuroscience*, S. 23-175, s. 75-84.
- SCERRI, T. S. vd. (2011). "DCDC2, KIAA0319 and CMIP are Associated with Reading-related Traits". *Biological Psychiatry*, S. 70, s. 237-245.
- SCHARFF C. - HAESLER, S. (2005). "An Evolutionary Perspective on FoxP2: Strictly for the Birds?". *Current Opinion in Neurobiology*, S. 15/6, s. 694-703.
- SCHARFF, C. - PETRI, J. (2011). "Evo-devo, Deep Homology and FoxP2: Implications for the Evolution of Speech and Language". *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. S. 366, s. 2124-2140.
- SCHARFF, C. – THOMPSON, C. (2013). "A Bird' s-Eye View of FoxP2". *Birdsong, Speech, and Language. Exploring the Evolution of Mind and Brain* [J. Boulhuis - M. Everaert (ed.)]: Massachusetts: The MIT Press, s. 455-470.
- SCHUMACHER, J. vd. (2006). "Strong Genetic Evidence of DCDC2 as a Susceptibility Gene for Dyslexia". *American Journal of Human Genetics*, S. 78, s. 52-62.
- SHU, W. vd. (2005). "Altered Ultrasonic Vocalization in Mice with a Disruption in the Foxp2 Gene". *Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America*, S. 102, s. 9643-9648.
- SPITERI, E. vd. (2007). "Identification of the Transcriptional Targets of FOXP2, A Gene Linked to Speech and Language, in Developing Human Brain". *American Journal of Human Genetics* S. 81, s. 1144-1157.

- STAES, N. - SHERWOOD, C. - WRIGHT, K. - de MANUEL, M. - GUEVARA, E. - MARQUES-BONET, T. - KRÜTZEN, M. - MASSIAH, M. - HOPKINS, W. - ELY, J. - BRADLEY, B. (2017). "FOXP2 Variation in Great Ape Populations Offers Insight into the Evolution of Communication Skills". *Nature Scientific Reports*, 7: 16866 | DOI:10.1038/s41598-017-16844-x
- ST POURCAIN, B. vd. (2014). "Common Variation Near ROBO2 is Associated with Expressive Vocabulary in Infancy". *Nature Communications*, S. 5, 4831.
- TAIPALE, M. vd. (2003). "A Candidate Gene for Developmental Dyslexia Encodes a Nuclear Tetratricopeptide Repeat Domain Protein Dynamically Regulated in Brain". *Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America*, S. 100, s. 11553-11558.
- TERAMITSU, I. – WHITE, S. (2006). "Foxp2 Regulation During Undirected Singing in Adult Songbirds". *The Journal of Neuroscience*. S. 26/28, s. 7390-7394.
- VARGHA-KHADEM, F. - WATKINS, K. E. - ALCOCK, K. - FLETCHER, P. - PASSINGHAM, R. (1995). "Praxic and Nonverbal Cognitive Deficits in a Large Family with a Genetically-transmitted Speech and Language Disorder". *Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America*, S. 92, s. 930-933.
- VARGHA-KHADEM, F. - WATKINS, K. E. - PRICE, C. J. - ASHBURNER, J. - ALCOCK, K. J. - CONNELLY, A. - FRACKOWIAK, R. S. J. - FRISTON, K. J. - PEMBREY, M. E. - MISHKIN, M. - GADIAN, D. G. - PASSINGHAM, R. E. (1998). "Neural Basis of an Inherited Speech and Language Disorder". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, S. 95/21, s. 12695-12700.
- VARGHA-KHADEM, F., GADIAN, D. G., COPP, A., - MISHKIN, M. (2005). "FOXP2 and the Neuroanatomy of Speech and Language". *Nature Reviews Neuroscience*, S. 6, s. 131-138.
- VERNES, S. C. vd. (2008). "A Functional Genetic Link between Distinct Developmental Language Disorders". *The New England Journal of Medicine*, S. 359, s. 2337-2345.
- VILLANUEVA, P. vd. (2015). "Exome Sequencing in an Admixed Isolated Population Indicates NFXL1 Variants Confer a Risk for Specific Language Impairment". *PLoS Genetics*, S. 11, e1004925.
- WHITEHOUSE, A. J. - BISHOP, D. V. - ANG, Q. W. - PENNELL, C. E. - FISHER, S. E. (2011). "CNTNAP2 Variants Affect Early Language Development in the General Population". *Genes, Brain and Behavior*, S. 10, s. 451-456.
- ZHANG, J. - WEBB, D. M. - PODLAHA, O. (2002). "Accelerated Protein Evolution and Origins of Human-specific Features: Foxp2 as an Example". *Genetics*, S. 162, s. 1825-1835.

## İnternet kaynakları

[http://www.genenames.org/cgi-bin/gene\\_symbol\\_report?hgnc\\_id=13875](http://www.genenames.org/cgi-bin/gene_symbol_report?hgnc_id=13875) (Eriřim 01.05.2016)

<http://www.geneticalliance.org.uk/docs/translations/turkish/1-dom-she-t-turkish.pdf>  
(Eriřim 03.04.2016)

<https://ghr.nlm.nih.gov/> (Eriřim 03.04.2016)

<http://ngm.nationalgeographic.com/2013/07/125-missing-human-ancestor/family-tree-graphic>  
(Eriřim03.04.2016)

## Kısaltmalar:

Bk. Bakınız.

Vd. Ve diđerleri.