|  |
| --- |
|  |

|  |
| --- |
| **BİYOENFORMATİK VE GENETİK** |
| [Belge alt başlığını yazın] |
|  |
|  |
|  |
| **MUSTAFA YILMAZ**  **ÖĞRENCİ NO:21452713** |
| **12.03.2023** |
|  |

İçindekiler

1. BİYOENFORMATİK NEDİR?
2. BİYOENFORMATİĞİN ÇIKIŞI
3. BİYOENFORMATİĞİN ÇALIŞMA ALANLARI
4. GENETİK BİLGİ AKIŞI NEDİR?
5. BİYOENFORMATİĞİN AMACI NEDİR?
6. BİYOENFORMATİK VE GENETİK BÖLÜMÜ DERSLERİ NELERDİR?
7. BİYOENFORMATİK VE GENETİK BÖLÜMÜ MEZUNU İŞ OLANAKLARI NELERDİR?
8. GENETİK VERİ NEDİR VE NE İŞİMİZE YARAR?
9. GENETİK VERİYİ ENDÜSTRİDE NASIL KULLANIRIZ?
10. TIPTA GENETİK BİLGİ NASIL KULLANILIR?

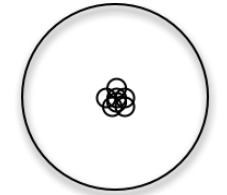
BİYOENFORMATİK VE GENETİK

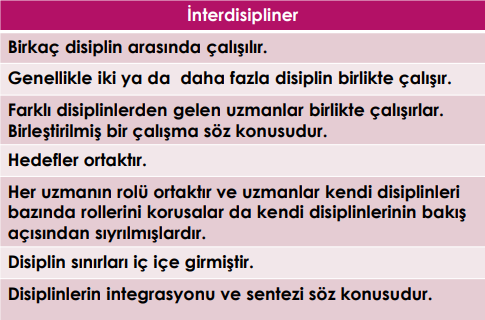
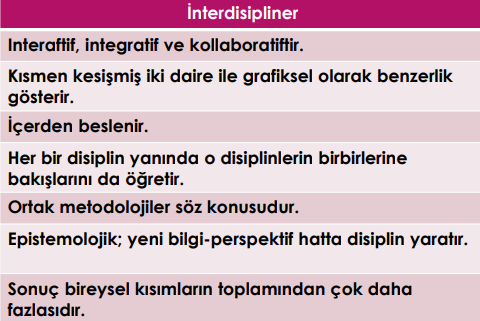
* ***Biyoenformatik Nedir?***

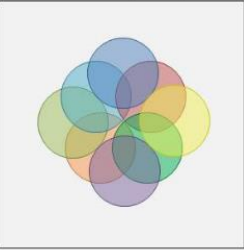
**Biyoenformatik**, [biyolojinin](https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyoloji) çeşitli dalları, ancak özellikle [moleküler biyoloji](https://tr.wikipedia.org/wiki/Molek%C3%BCler_biyoloji) ile bilgisayar teknolojisini ve bununla ilişkili veri işleme aygıtlarını bünyesinde barındıran bilimsel disiplin. Bir diğer tanımla, karmaşık biyolojik verilerin derlenmesi ve analiz edilmesiyle birlikte interdisipliner bir bilimdir.

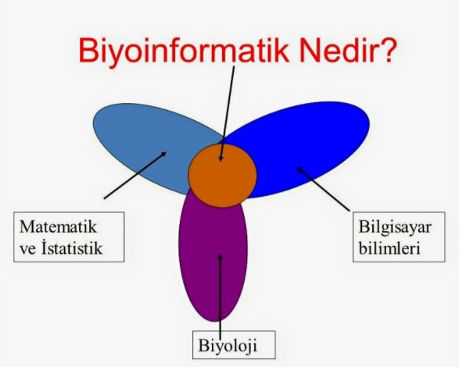
Biyoenformatik genel olarak biyolojik problemlerin çözümünde bilişim teknolojilerinin kullanılması olarak tanımlanabilir. En dar tanımı ile *genomik*[*sekansları*](https://tr.wikipedia.org/wiki/Sekans)*destekleyen biyolojik veritabanlarının oluşturulması ve işletilmesi*, en geniş tanımı ile de *mevcut tüm bilgisayar uygulamalarının biyolojik problemlerin çözümünde kullanılması* olarak anlaşılır[[1]](#footnote-1)

**İNTERDİSİPLİNER YAKLAŞIM NEDİR?**

****Ortak bir konuda, belirli disiplin bilgisine farklı disiplinlerin katkıda bulunmasıdır. Disiplinler sınırlarını zorlar ve karşılıklı bir etkileşim içine girerler.

 [[2]](#footnote-2)

* ***Nereden Çıktı Bu Biyoenformatik?***

Biyoenformatik adı ilk defa **Paulien Hogeweg** tarafından 1970 yılında kullanıldı.

1960'larda başlayan bilgisayar uygulamalarının biyolojide kullanılması girişimi, her iki alandaki teknolojik gelişime paralel olarak hızla ilerlemiş ve böylelikle ortaya çıkan **Biyoenformatik** dalı bugün en popüler akademik ve endüstriyel sektörlerin başına geçmiştir.

Bilgisayarların [moleküler biyolojide](https://tr.wikipedia.org/wiki/Molek%C3%BCler_biyoloji) kullanımı üç boyutlu moleküler yapıların grafik temsili, moleküler dizilimler ve üç boyutlu moleküler yapı veritabanları oluşturulması ile başlamıştır. Kısa sürede çok yüksek miktarlarda veri üreten, endüstri düzeyinde gen ekspresyonu, [protein](https://tr.wikipedia.org/wiki/Protein)-protein ilişkisi, biyolojik olarak aktif molekül araştırmaları, [bakteri](https://tr.wikipedia.org/wiki/Bakteri), maya, hayvan ve insan [genom](https://tr.wikipedia.org/wiki/Genom) projeleri gibi biyolojik deneylerin doğurduğu talep sonucunda, bu alandaki [bilişim](https://tr.wikipedia.org/wiki/Bili%C5%9Fim) uygulamaları neredeyse takip edilemez bir hızda gelişmiştir.

**Biyoenformatik** dalının ayrı bir (disiplinlerarası) bilim dalı olarak tanınması da 2000'li yıllarda gerçekleşmiştir.

[[3]](#footnote-3)

* ***Çalışma Alanları:***

Biyoenformatik modern biyolojinin iki temel bilgi akışını kapsar:

1.Genetik bilgi akışı: Bir organizmanın DNA’sı incelenerek özelliklerinin belirlenmesinden, incelenen bu organizma türünün oluşturduğu toplulukların karakteristik özelliklerine kadar olan bilgi akışı. Elde edilen DNA bilgisi tekrar genetik havuzun tanımlanması için kullanılır.

2.Deneysel bilgi akışı: Biyolojik olaylar gözlenerek elde edilen enformasyon, açıklayıcı matematiksel modeller ile tarif edilir, daha sonra bu modellerin doğruluğu yeni deneyler ile test edilir.

[[4]](#footnote-4)

Son yirmi yılda temel biyolojik araştırmaların klinik tıp uygulamaları ve klinik tıp bilgi sistemleri üzerindeki etkisi daha da belirleyici olmuş ve bugün yeni kuşak epidemiyolojik, tanı, teşhis ve tedavi amaçlı modüllerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Biyoenformatik çalışmalar temel bilimsel araştırmalara yönelik görünmekle beraber önümüzdeki on yıl içinde klinik bilişim için vazgeçilmez olacaktır. Örneğin hastaların tıbbi kayıtlarında giderek artan bir sıklıkla DNA dizilim bilgileri yer almaya başlayacaktır. Bugün ABD'de bazı sigorta şirketleri, risk primleri belirlenirken mevcut genetik tarama test sonuçlarını talep edebilmektedir. Biyoenformatik araştırmalar için geliştirilen algoritmaların çok yakında klinik bilişim sistemlerine entegre olması beklenmektedir.

Bu alanı kısaca tanımlamanın bir yolu da, biyoenformatik araçların kullanıldığı genel araştırma konularını özetlemek olabilir.

* Metodolojik çalışmalar:

1. DNA sıra ve dizilimi araştırmaları
2. Protein sıra ve dizilimi araştırmaları
3. Makro moleküler yapıların (DNA, RNA, protein) üç boyutlu yapı araştırmaları
4. Küçük moleküllerin (potansiyel terapötik maddeler, aktif peptitler, ribozimler vs.) ligandlarıyla etkileşiminin araştırılması
5. Heterojen biyolojik veri tabanlarının entegrasyonu
6. Biyolojik enformasyonun paylaşımının kolaylaştırılması
7. Bilgisayar ile otomize edilmiş veri analizi ve iletimi
8. Etkileşimde bulunan gen ürünleri için bilgi ağları oluşturulması
9. Kimyasal reaksiyonlardan hücrelerarası iletişime kadar pek çok biyolojik faaliyet sürecinin matematiksel modellenmesi ve simülasyonu
10. Büyük çaplı biyolojik deneylerden (GENOM projeleri gibi) çıkan sonuçların analizi

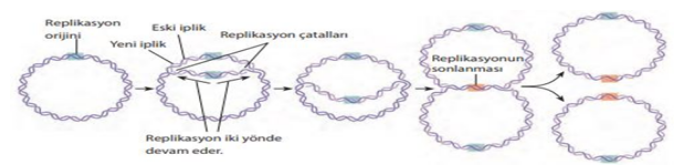
* Biyolojik çalışmalar:

1. Proteinlerin yapılarının ve fonksiyonlarının belirlenmesi
2. Herhangi bir biyolojik fonksiyonu arttıran ya da engelleyen küçük moleküllerin tasarlanması
3. Karmaşık genetik fonksiyon ya da regülasyon faaliyetlerinin tanımlanması
4. Tıbbi ya da endüstriyel amaçlı yeni makro moleküller üretilmesi
5. Genetik faktörlerin hastalık yatkınlığına etkilerinin ortaya çıkarılması[[5]](#footnote-5)

* ***GENETİK BİLGİ AKIŞI NEDİR?***

Santral dogma, DNA’daki talimatların RNA’ya, RNA’dan da proteine doğru genetik bilgi aktarımının sağlandığı süreçtir. Genetik bilgi akışını sağlayan bu olay tek yönlü gerçekleşir. Replikasyon (DNA eşlenmesi), transkripsiyon (yazılma) ve translasyon (okunma) olmak üzere 3 evrede gerçekleşir.[[6]](#footnote-6)

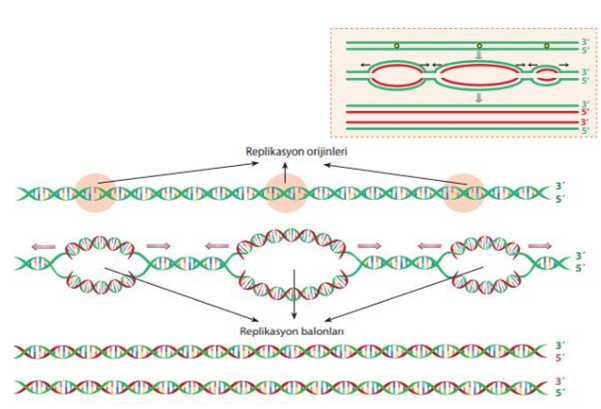
1.REPLİKASYON (DNA EŞLENMESİ):



PROKARYOTLARDA DNA REPLİKASYONU

DNA, bazı virüsler hariç tüm canlıların genetik maddesidir. Canlılar bütün kalıtsal özelliklerini DNA molekülünde bulundurur. Sağlıklı hücreler bölündüğü zaman kalıtsal özelliklerinin hiçbir değişikliğe uğramadan yavru hücrelere eşit şekilde aktarılması gerekir. İşte bu aktarım, DNA’nın eşlenerek bir kopyasını oluşturmasıyla yani replikasyon adı verilen olayla gerçekleşir. Replikasyon işlemi sırasında görev alan bazı enzimler vardır. Bunlar:

* DNA helikaz, azotlu organik bazlar arasındaki zayıf hidrojen bağlarını kopararak çift zincirli DNA sarmalının açılmasını sağlar.
* DNA polimeraz, yeni sentezlenecek zincirin ucuna nükleotid ekler. Yani DNA polimeraz enzimi, DNA ikileşmesini sağlar.
* DNA ligaz, replikasyon sırasında oluşturulan DNA parçacıkları arasındaki boşlukları kapatır.[[7]](#footnote-7)



ÖKARYOTLARDA DNA REPLİKASYONU

2.TRANSKRİPSİYON(YAZILMA):

DNA’nın yönetimi altında gerçekleşen RNA sentezidir. İki nükleik asit, aynı dilin farklı formlarında yazılır ve bilgi, DNA’dan RNA’ya basitçe kopyalanır ya da yeniden yazılır. DNA replikasyonu sırasında DNA zincirlerinden biri, yeni tamamlayıcı zincir sentezinde kalıp olarak işlev gördüğü gibi, bir RNA nükleotid dizisinin oluşumunda da kalıp olarak iş görür. Üretilen RNA molekülü, protein kodlayan genler için, genlerdeki protein yapısı ile ilgili bilgilerin güvenilir kopyasıdır. Bu tip RNA molekülü, genetik bilgiyi DNA’dan hücrenin protein sentez makinesine taşıdığı için messenger RNA (mRNA) olarak adlandırılır.

3.TRANSLASYON(OKUNMA):

mRNA’daki bilgilerin kullanılmasıyla bir polipeptidin sentezlenmesidir. Hücre, mRNA molekülündeki nükleotid dizisini bir polipeptidin amino asit dizisi şekline tercüme etmek zorundadır. Bu tercüme ribozomlarda yapılır; ribozomlar amino asitleri sırasıyla birbirine bağlayarak polipeptit zincirleri haline gelmesini kolaylaştıran kompleks partiküllerdir.

Transkripsiyon; prokaryotlarda sitoplazmada, ökaryotlarda çekirdekte gerçekleşir. Translasyon; prokaryolarda ribozomda, ökaryotlarda ribozomda gerçekleşir. Transkripsiyon ve translasyonda meydana gelen mutasyonlar kalıtsal değildir.

Ben santral dogma olayını ilk duyduğumda zihnimde proteinlerden oluşan bir fabrika ve fabrikanın makinelerinde işlenen aminoasitler canlanmıştı. Konuyu kavradığımızda görüyoruz ki en başta DNA işleniyor. İşlenen bilgiler RNA’da kopya oluşturup genetik bilginin çözülmesini sağlıyor ve en son işlenen mRNA’daki şifre de ribozomda okunarak protein sentezlenmiş oluyor. [[8]](#footnote-8)

* ***BİYOENFORMATİĞİN AMACI NEDİR?***
* DNA, RNA ve protein dizilerinin yapılarını ve fonksiyonlarını araştırmak
* Hastalıklara ve genetik bozukluklara çare üretebilmek
* Genetik hastalıkları tedavi edebilecek ilaçları üretebilmek[[9]](#footnote-9)
* ***Biyoenformatik ve Genetik Bölümü Eğitim Süresi Kaç Yıldır?***

Biyoenformatik ve Genetik, üniversitede Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi kapsamında eğitimi verilmekte olan 4 yıllık bir lisans bölümüdür. Bu bölüm yalnızca Sayısal puan türüne göre tercih edilebilir.

Biyoenformatik ve Genetik Bölümü, 2019-2020 YÖK verilerine göre yalnızca tek bir üniversitede iki farklı seçenek ile tercih rehberlerinde yer almaktadır.

* ***Biyoenformatik ve Genetik Bölümü Dersleri Nelerdir?***

Üniversitede biyoenformatik ve genetik üzerine eğitim almayı amaçlayan ve tercih edecek olan öğrenciler;

* Kimya,
* Bilgisayar ve Bilgi Sistemleri,
* Organik Kimya,
* Biyoenformatik,
* Programlama Dilleri,
* Nümerik Metotları ve Optimizasyon,
* Hücre Biyolojisi ve Genetik,
* Genomik ve Proteomik,
* İstatistiksel Termodinamik,
* Bilgisayar Tabanlı İlaç Tasarımı,
* Moleküler Modelleme ve Simülasyon,
* Nörobiyoloji,
* Biyoloji içinde Akışkanlar Dinamiği,
* Farmakokinetik Enzim Kinetiği,
* İlaç Tasarımı ve İlaç Etkilerinin Organik Kimyası,
* Algoritmaların Tasarımı ve Analizi,
* Yapay Zeka ve Yapay Sinir Ağları[[10]](#footnote-10)

Ve daha birçok dersten 8 yarıyıllık eğitim süresi boyunca sorumlu olacaklardır. Tüm bu dersleri başarı ile tamamlayan öğrenciler “Biyoenformatik ve Genetik Lisans Diploması” elde etmeye hak kazanır.

* ***Biyoenformatik ve Genetik Bölümü Mezunu Ne İş Yapar?***

Biyoenformatik ve genetik mezunları, bilimsel alanda gerçekleştirilen çalışmalarda ortaya çıkan verilerin anlamlandırılması ve gerekli birimlerde doğru çalışmalar ışığında kullanılabilmesi adına çalışmalar gerçekleştirirler.

* ***Biyoenformatik ve Genetik Bölümü Mezunu İş Olanakları Nelerdir?***

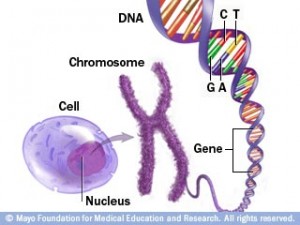
Mezunlar, kariyerlerine bilimsel araştırmaların ve çalışmaların yoğunlukta olduğu birçok yerde devam etme imkânlarına sahip olurlar. Söz konusu çalışma ortamlarının başında tıbbi araştırma laboratuvarları, ilaç firmaları, hijyen ve dezenfektan firmaları, kozmetik şirketlerini saymak mümkündür.

Tüm bunların haricinde mezunlar akademik çalışmalarına devam edebilirler ya da edinmiş oldukları bilgileri başka nesillere aktarmak adına formasyon alarak öğretim kurumlarında kariyerlerine devam edebilirler. Söz konusu iş fırsatlarından devlet kurum ve kuruluşlarında yer alabilmek için mezunların Kamu Personeli Seçme Sınavı (KPSS)’ndan yeterli puanı elde etmesi[[11]](#footnote-11)

* ***Genetik veri nedir?***

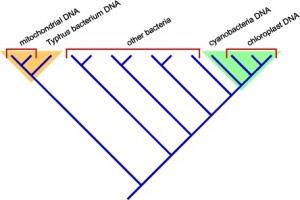
Biyoinformatik biliminin işlediği veri tipi çoğunlukla genetik veri ve buna bağlı gen ifadesidir. Peki nedir genetik veri? Canlının, kalıtsal olan ve kalıtsal olmayan DNA özellikleridir. Bu özellikleri inceleme yöntemleri Mendel’den bu yana dolaylı analizlerken (linkage analizi, karyotip vs.) bu yüzyılda yerini sekanslama teknolojisine bıraktı. Sekanslama, bir nükleik asit zincirini (DNA/RNA) oluşturan nükleotidlerin (A, T, C, G, U) sırası ile belirlenmesidir.[[12]](#footnote-12)

* ***Genetik veri ne işimize yarar?***

Her canlı türünün kendine özgü genleri ve genetik elementleri vardır. Her geçen gün daha hızlı ve daha düşük maliyetle çalışan sekanslama teknolojisi ve genetik analiz, hayat kalitemizi yükseltmek için envaitürlü kullanılmaya başlandı. Örneğin genetik analiz canlının var olup olmadığına kanıt olarak kullanılabilir. Bu ilk duyduğunuzda size garip gelebilir, o yüzden şu örneği verelim. Kanınızda sıtma mikrobunun (Plasmodium) olup olmadığını anlamanın en güvenilir yolu mikroskop altında gözden kaçabilecek Plasmodium türlerini de yakaladığı için, PCR yardımı ile genetik analizdir.

Ya da bir grup canlıyı sınıflandırmak istediğinizi düşünün. Bu tür sınıflandırmalar, yani akrabalık ilişkilerini kurmak, taksonomi bilimi ve pratik uygulamaları için (bakteriler için

antibiyotik geliştirme, dayanıklılığı yüksek bitkiler vs.) son derece önemlidir. Aristo döneminde renk, büyüklük gibi özellikler yardımıyla yapılan sınıflandırma ve filogenetik ağaçlar, artık canlıların genomlarını (canlının tüm DNA bilgisi) karşılaştırarak, çok daha gerçekçi biçimde yapılmaktadır. Bu sınıflandırmayı yapan bilim insanları, genetik desenleri tanımak için genetik, takip etmek için istatistik, ve bunları bilgisayar ortamında organize edebilmek için bilgisayar mühendisliği bilen biyoenformatikçilerdir. Başka bir örnekte, mitokondrinin geçirmiş olduğu evrimsel basamakları anlamaya çalıştığınızı düşünün. Mitokondrinin zaman içinde geçirdiği değişimleri, küçük genetik izlerden takip ederek evrimsel hikâyesine ulaşanlar, hem genetik bilen, hem de bu küçük izleri takip edebilecek kadar istatistik bilen bioenformatikçilerdir.

Mitokondriyel DNA ile bakteri türlerinin genomunu karşılaştıran bilimadamları, endosimyiboza kanıt sunmuşlardır. Benzer biçimde türleşmeyi ve canlıların göç yollarını geriye doğru takip etmek, yani evrimin geri geri saymak, biyoinformatikçilerin uzmanlık alanına girmektedir.

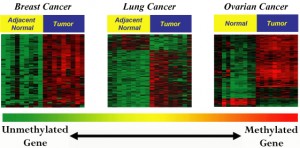
* ***Genetik veriyi endüstride nasıl kullanırız?***Küresel çapta en hızlı ilerleyen bir kaç sektörden biri, biyoteknolojidir. Biyoteknoloji sektörü biyolojik bilimlerin pek çoğundan faydalanır. Mesela, sıcaklığı yüksek ve asitli bir kraterdeki ekosistemden, birçok farklı canlıyı içeren bir örnek aldığınızı düşünün. Aldığınız örnekten elde ettiğiniz toplam DNA’yı sekanslamak (metagenomik analiz) size örnekteki canlı türleri ve değişik canlıların yüksek sıcaklık/düşük pH ile hangi genler yardımıyla başa çıktığına dair önemli ipuçları verir; hatta bu ortamda hayatta kalmalarına izin veren yeni genler keşfedebilirsiniz. Biyoteknoloji çalışmalarında orijinal gen keşfi hayati önem taşır. Yüksek sıcaklıkta kararlılığı yüksek polimeraz enziminden (PCR teknolojileri için gereklidir), selülozdan alkol üreten bakteriye kadar (biyo-yakıt teknolojileri için gereklidir) pek çok amaç için, biyoteknoloji firmaları ve devletler yeni gen keşfi ve gen sınıflandırmasına dev bütçeler ayırmaktadırlar.[[13]](#footnote-13)
* ***Tıpta genetik bilgi nasıl kullanılır?***

Genetik bilgi, türün bireyleri arasındaki çeşitlilik gösterir. Bu çeşitlilik adaptasyonu arttırdığı için türün hayatta kalma şansını güçlendirse de, bazı bireylerin bazı hastalıklara yatkın olmasına veya bazı kalıtsal hastalıklarla doğmasına sebep olur. Görülen hastalıklar ile sorumlu gen veya sorumlu mutasyonlar arasındaki bağlantıyı kurabilmek için yoğun biyoenformatik çalışmaya ihtiyaç vardır.

Bir insanın genomuna biyoenformatik analiz uygulayarak hangi hastalıkları taşıdığını veya hangi hastalıklara yatkın olduğunu tayin edebilirsiniz. Genetik bilimciler biyoenformatik teknikleri kendileri uygulayabildikleri gibi, biyoenformatik uzmanlarıyla beraber de çalışmaktadır. Yaygınlaşan sekanslama teknikleri günümüzde genetik tanının en sık kullanılan şekli olmuştur ( 1000 dolarlık tüm genom sekanslama tekniğini yakın zamanda sundu). Türkiye’de ise genetik tanı sektörü oldukça gelişmiştir ve çevre ülkelerden yoğun talep görmektedir. Fakat belirttiğimiz gibi, 3 milyar bazlık veriye sahip olmak hiç bir işimize yaramaz. Bu devasa veriden anlamlı bilgileri, biyoenformatikçiler çıkarır.

Genetik veri türden türe ve canlıdan canlıya göre değiştiği gibi, çok hücreli canlıların değişik hücreleri arasında farklılık gösterir. En temel örnek üreme hücrelerinin arasındaki farklılıktır. Bir çiftin çocuklarının ¾’ü anne karnında kalıtsal bir hastalık yüzünden ölme riski taşıyorsa, yapay döllenme ile embriyoları laboratuvar ortamında elde edip, embriyoları genetik testten geçirip, sadece sağlıklı bebekleri ana rahmine yerleştirebilirsiniz (taramalı IVF). Bu yöntem başka pek ülkede olduğu gibi, Türkiye’de de başarı ile uygulanmaktadır. Ender görülen ve henüz tanımlanmamış hastalıklarla karşılaşılması durumunda, sorumlu kişinin önce genetik tanımlamayı yapması gerekir. Bu tür durumlar araştırma ve uygulamanın kesişim noktalarıdır ve biyoenformatik çalışmalardan faydalanırlar.

Canlı içinde genetik farklılık gösteren en tehlikeli hücre grubu, kanser hücreleridir. Uzayan yaşam süresi ve artan kanserojen unsurlar sebebiyle günümüzde her 4 kişiden 1’i maalesef kanser ile karşılaşmaktadır. Kanser tedavisinde tümörün kökeni, evresi ve geçirdiği mutasyonlar hayati önem taşır. Kişiye özgü tıp ile uygulanan tedavi tümörün özelliklerine göre tamamen değişmektedir. Tümörü tanımlamak ise, ıslak laboratuvarda hücre biyologlarının, kuru laboratuvarda biyoenformatikçilerin işidir. Uygulamada olan tümör tanımlama görevi, buzdağının sadece görebildiğimiz kısmıdır. Göremediğimiz kısmını su yüzüne çıkarmak için, tümörleri tanımlayacak uygun parametreler (biomarker) aranmaktadır. Bu araştırma süreci için, biyoteknoloji ve ilaç sektörünün önde giden bütün firmaları, ünlü enstitüler ve araştırma grupları muazzam bütçeler ve insan gücü kullanmaktadır. Mikroarray gibi deneylerle moleküler biyologların ve genetikçilerin başlattığı biomarker sürecini, bilgisayar ortamında biyoenformatikçiler tamamlamaktadır.[[14]](#footnote-14)



*Meme, akciğer ve yumurtalık kanseri için, DNA metilasyonunu kullanarak biomarker araştırması*

1. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyoenformatik> [↑](#footnote-ref-1)
2. <https://bezmialem.edu.tr/saglik-bilimleri-enstitusu/Documents/gul-guer-erdogan-1.pdf> slaytın 4 ve 5. Sayfasından [↑](#footnote-ref-2)
3. http://sites.khas.edu.tr/biyoinformatik/nedir/biyoinformatik-ve-genetik-2/ [↑](#footnote-ref-3)
4. https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyoenformatik [↑](#footnote-ref-4)
5. https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyoenformatik [↑](#footnote-ref-5)
6. <http://genderi.org/genetik-bilgi-aks.html> [↑](#footnote-ref-6)
7. https://genetikce.com/genetik-bilgi- [↑](#footnote-ref-7)
8. https://genetikce.com/genetik-bilgi- [↑](#footnote-ref-8)
9. https://www.bilimvetekno.com/biyoenformatik-biliminin-onemi/ [↑](#footnote-ref-9)
10. https://www.kariyer.net/bolumler/biyoenformatik%2Bve%2Bgenetik/nedir [↑](#footnote-ref-10)
11. https://www.basarisiralamalari.com/biyoenformatik-ve-genetik-bolumu-nedir-hakkinda-bilgi/ [↑](#footnote-ref-11)
12. http://sites.khas.edu.tr/biyoinformatik/nedir/biyoinformatik-ve-genetik-2/ [↑](#footnote-ref-12)
13. http://sites.khas.edu.tr/biyoinformatik/nedir/biyoinformatik-ve-genetik-2/ [↑](#footnote-ref-13)
14. https://evrimagaci.org/biyoteknoloji-tipta-ve-tarimda-nasil-kullanilir-gen-terapisi-gdo-ve-daha-fazlasi-13648 [↑](#footnote-ref-14)