



T.C.

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSTATİSTİKTE KLASİK (FREKANSÇI) VE BAYESYEN
YAKLAŞIMIN
ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

CENNET YILDIZ

**DANIŞMAN: DR. MEHMET GÜVEN GÜNVER
BİYOİSTATİSTİK VE TIP BİLİŞİMİ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

İSTANBUL-2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince gösterdiği emek, bilgi paylaşımı ve ayırdığı zaman ile her zaman yanımda olan danışman hocam Dr. Mehmet Güven Günver’e ve çalışmam boyunca desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI.....	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
TABLolar LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER/KISALTMALAR LİSTESİ.....	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XIII
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Olasılık Teorisi	4
2.1.1. Ortak Olasılık.....	5
2.1.2. Marjinal Olasılık.....	5
2.1.3. Koşullu Olasılık.....	6
2.1.4. Olayların Birleşimi	6
2.2. Toplam Olasılık Yasası	7
2.3. Olasılık Dağılımı	7
2.3.1. Binom Dağılımı	8
2.3.2. Negatif Binom Dağılımı	9
2.3.3. Poisson Dağılımı	10

2.3.4. Tekdüze Dağılım	12
2.3.5. Üstel Dağılım	13
2.3.6. Gamma Dağılımı	14
2.3.7. Beta Dağılımı	14
2.3.8. Normal Dağılım	15
2.4. İstatistiksel Çıkarım	15
2.4.1. Olabilirlik Fonksiyonu	21
2.4.2. Frekantist ve Bayesyen Yaklaşım	21
2.4.3. Bayes Teoremi	22
2.4.4. Bayes Faktörü	27
2.4.5. Örneklem Büyüklüğü	29
3. GEREÇ VE YÖNTEM	32
4. SONUÇLAR	34
4.1. Küçük Örneklem Büyüklüğü İle İstatistiksel Analiz	34
4.2. Büyük Örneklem Büyüklüğü İle İstatistiksel Analiz	49
5. TARTIŞMA	62
6. KAYNAKLAR.....	66
7. ETİK KURUL ONAYI	71

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Tip 1 ve tip 2 hata	17
Tablo 2. Grup 1'in tanımlayıcı istatistikleri.....	35
Tablo 3: İKH olan ve olmayan hastaların parametrelerinin frekantist yaklaşım ile sonuçları.....	36
Tablo 4: Önsel bilgi olmadan elde edilen Bayes t-testi sonuçları.....	37
Tablo 5: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından sonsal dağılım istatistikleri...	37
Tablo 6: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından bilgilendirici olan önsel dağılımdan elde edilen Bayes t-testi sonuçları.....	41
Tablo 7: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından sonsal dağılım istatistikleri.....	42
Tablo 8: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından Jeffreys önseli ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçları.....	45
Tablo 9: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından sonsal dağılım istatistikleri.....	46
Tablo 10: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından grup istatistikleri.....	49
Tablo 11: Grup 2 parametrelerinin karşılaştırılması.....	50
Tablo 12: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından önsel bilgi olmadan elde edilen Bayes t-testi sonuçları.....	51
Tablo 13: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından sonsal dağılım istatistikleri.....	51
Tablo 14: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından bilgilendirici olan önsel dağılımdan elde edilen Bayes t-testi sonuçları.....	55
Tablo 15: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından sonsal dağılım istatistikleri.....	55

Tablo 16: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından Jeffreys önseli ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçları.....59

Tablo 17: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından sonsal dağılım istatistikleri.....59



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Tip I (α) ve Tip II (β) hatanın gösterilmesi.....	18
Şekil 2: Anlamlılık seviyesi ve p değeri.....	19
Şekil 3: Bayes faktörünün şematik gösterimi.....	29
Şekil 4: Glukoz, TG, TKOL ve HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	38
Şekil 5: LDL, üre, kreatinin ve hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	39
Şekil 6: HCT, RDW, WBC, Plt değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	39
Şekil 7: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	40
Şekil 8: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	42
Şekil 9: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	43
Şekil 10: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	43
Şekil 11: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	44
Şekil 12: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	46
Şekil 13: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	47
Şekil 14: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	47

Şekil 15: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.	48
Şekil 16: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.....	52
Şekil 17: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	53
Şekil 18: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	53
Şekil 19: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri	54
Şekil 20: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri	56
Şekil 21: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	56
Şekil 22: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri	57
Şekil 23: MPV, NÖT, LYMP değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	58
Şekil 24: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	60
Şekil 25: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	60
Şekil 26: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.....	61
Şekil 27: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri	61
Şekil 28: Örneklem büyüklüğü fonksiyonuna göre Bayes faktörünün değişimi	63

SEMBOLLER/KISALTMALAR LİSTESİ

BF: Bayes faktörü

CI: Güven aralığı

EB: Etki büyüklüğü

Hbg: Hemoglobin

HCT: Hematokrit

HDL: Yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol

İKH: İskemik kalp hastalığı

LDL: Düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol

LYM: Lenfosit

MPV: Ortalama trombosit hacmi

NÖT: Nötrofil

OF: Ortalama fark

Ort: Ortalama

PLT: Trombosit

PSD: Havuzlanmış standart hata fark

RDW: Eritrosit dağılım genişliği

SH: Standart hata

SS: Standart sapma

TG: Trigliserid

TK: Total kolesterol

WBC: Lökosit

ÖZET

Yıldız, C. (2022). İstatistikte klasik (frekansçı) ve Bayesyen yaklaşımın örneklem büyüklüğü üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyoistatistik ABD. Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi Programı.Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Araştırmaların en önemli aşamalarından birisi optimum örneklem büyüklüğünün hesaplanmasıdır. Örneklem büyüklüğünün hesaplanmasının temel amacı, klinik parametrelerde, tedavi etkilerinin ya da ilişkilerin belirlenmesinde anlamlı farklılıkların tespit edilebilmesi için gerekli olan örneklem sayısının saptanmasıdır. Yetersiz örneklem büyüklüğüne bağlı olarak mevcut farklılıkları saptayamayan istatistiksel açıdan gücü düşük çalışmalara medikal dünyada sıkça rastlanmaktadır. Örneklem sayısının gereğinden fazla olması durumunda ise istatistiksel testlerin gücü artarak klinik olarak faydası olmayan küçük farkların saptanması kolaylaşmaktadır. Çalışmamızın amacı frekantist yaklaşımda örneklem büyüklüğünün gereğinden fazla artışı ile oluşan bu durumu Bayesyen yaklaşım ile karşılaştırmaktır.

Çalışmamızda küçük ve büyük örneklem büyüklüğünde istatistiksel farklılıkları karşılaştırmak amacı ile küçük ve büyük olmak üzere iki örneklem oluşturulmuştur. Tüm gözlemler 40-50 yaş aralığında erkek hastalardan oluşmaktadır. Küçük örneklem için prospektif olarak iskemik kalp hastalığı (İKH) olan 32, İKH olmayan 37 çalışmaya dahil edilmiştir. Büyük örneklem için retrospektif olarak hastane veri sistemi taranarak iskemik kalp hastalığı olan 355, olmayan 545

kişi çalışmaya alınmıştır. Tüm hastaların biyokimyasal parametreleri frekantist ve Bayesyen yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Araştırmada istatistiksel analiz bulgularının değerdendirilmesinde hata payı %5 olarak alınmıştır. Uygulamanın tamamı ise IBM SPSS 26 programı kullanılarak gerçekteştirilmiştir. Çalışmamızın sonucuna göre yüksek bir güçte çalışma planlanırken verinin frekansçı ya da Bayesyen istatistik ile değerdendirilmesi açısından fark bulunmamamaktadır.

Anahtar Kelimeler: İstatistik, Bayesyen analiz, örneklem büyüklüğü.

ABSTRACT

Yıldız, C. (2022). Comparison of the effects of classical (frequentist) and Bayesian approaches on sample size. Istanbul University, Institute of Graduate Studies in Health Sciences. Department of Biostatistics. Biostatistics and Medical Informatics Program. Master's Degree Thesis.

Sample size calculation is one of the essential step in design of clinical studies. Major purpose of sample size calculation is to detect the differences in clinical parameters, treatment effects and associations between variables. It is not uncommon to see underpowered studies which could not detect differences because of inadequate sample size. In contrast, a large sample size may cause an amplification in detection of differences resulting in statistical differences that are not clinically relevant. In the present study we aimed to evaluate effect of sample size on clinical results of study by using frequentist and Bayesian approaches. For the evaluation of differences between small and large sample sizes, we constituted two samples. All the samples were consisted of male patients who were 40-50 years old age. Small sample was consisted of 32 patients with ischemic heart disease (IHD) and 37 control subjects. Large sample was consisted of 355 IHD patients and 545 controls. Biochemical parameters of the patients were compared by frequentist and Bayesian approaches. Type I error rate of 5% was accepted for statistical analysis. All the analyses were conducted by using IBM SPSS 26. Our study results suggested that there were no differences between frequentist and Bayesian approach results when the sample size was large and the power of the study was high.

Key words: Statistics, Bayesian analysis, sample size.



1. GİRİŞ VE AMAÇ

İstatistik bir bilim dalı olarak gelişimi esnasında farklı düşüncelerin etkisi altında kalmıştır. Bu düşünceler zaman içinde belirginleşmiş, frekantist ve Bayesyen yaklaşım olarak kutuplaşmıştır. Frekantist yaklaşımda tümdengelim yöntemi benimsenirken, Bayesyen yaklaşımda tümevarım yöntemi benimsenmiştir. Ayrıca frekantist yaklaşımda daha çok deterministik bir yol izlenirken, Bayesyen yaklaşım olasılık temelli bir yoruma yakındır.

Hayatımız boyunca her gün bazı şeylere inanır bazılarına inanmayız. Bu durum sadece hayatın “büyük soruları” ile ilgili değildir; küçük, önemsiz olaylar bu bir çok şeyi kapsar. Örneğin, her sabah okula giderken bindiğimiz otobüsün bizi okulumuza bırakacağını biliriz. Bu durumu nasıl bilebiliriz? Çünkü pek çok kere otobüse binip okula gitmişizdir, ayrıca otobüsün üzerinde yolculuk esnasında duracağı duraklar hakkında bilgi vardır. Bu bulguların hiç biri otobüsün üniversiteye gideceğinin kesin kanıtı değildir ancak durumu olası yapar. Bu bilgi parçaları toplanarak otobüsün bizi okula götüreceği hakkında “emin” oluruz.

Kesin bir biçimde emin olacak kadar bilgiye sahip olmasak bile bir şekilde beynimiz pek çok sorunun cevabını doğru tahmin edebilir. Bu tahminleri bilinçsiz bir biçimde deneyim ve iç güdülerimize dayanarak yaparız. Ancak içgüdülerimizi kullanarak karar veremeyeceğimiz alanlar vardır. Bu alanlara bilim dalları da dahildir. Yeni bir tedavi modalitesi eskisine göre daha iyi midir? Evrenin genişlemesi hızlanmakta mıdır? İnsanlar cevabı henüz bilinmeyen sorulara yanıt bulma konusuna meraklıdırlar. Bu nedenle dikkatlerimiz cevabını bilmediğimiz sorular üzerindedir. İstatistik işte bu noktada, %100 emin olmadığımız ancak bildiğimiz kadarı ile tahmin etmek istediğimiz durumlarda işimize yaramaktadır.

Bir konu hakkında ne ölçüde emin olduğumuzu tanımlamak doğaldır. Bu tanımlama subjektif bir tanımlamadır. Örneğin bildiğimiz bir soru bize sorulduğunda yüzde yüz emin olduğumuzu söyleyebiliriz. Başka bir kişi aynı soru sorulduğunda %25 emin olduğunu söyleyebilir, çünkü cevap hakkında hiç bir fikri yoktur.

Bayesyen istatistikte *olasılık* bir durum, öneri hakkında ne kadar emin olduğumuzun tanımlamasıdır. Eğer olasılık 1 ise durum hakkında kesin olarak eminiz, 0 ise kesin olarak yanlış olduğunu düşünüyoruz demektir. Bayesyen istatistik yeni veri ortaya çıktıkça olasılığın güncellenmesini de kapsar. Bayes teoremi yeni bilgiler ile verilerden elde edilen bilgileri birleştirerek olasılık değerinin güncelleştirilmesini sağlar. Buna karşın frekantist yaklaşım bir olayın (hipotez) olup olmaması ile ilgilenir. Bu yaklaşımda sonuca ana kütleden çekilen örnekler ile ulaşılmaya çalışılır ve aynı şartlarda tekrarlanan deney sonuçları incelenir. Frekantist yaklaşımda bilinmeyen parametreler sabit olarak düşünülür ve yansız olarak düşünülen olasılıklar hesaplanır. Ayrıca örnek dışındaki bilgilerin analizi yapılmaz bunun aksine Bayesyen yaklaşımda bilinmeyen bir parametre ile ilgili olarak belirsizlik var ise bu olasılık dağılımı ile açıklanmaya çalışılır. Frekantist yaklaşımda kullanılan p değeri bazı zorluklara sahiptir. Bu nedenle nicel veriler ile çalışan araştırmacılar p değerini daha az kullanır olmuştur (Raftery, 1995). Bilimsel çalışmalarda örneklem büyüklüğü tayini önemli bir basamaktır. Örneklem bilimsel çalışmada evreni temsil eden ve az sayıda denek/bireyden oluşan bir topluluktur. Evreni incelemek amacı ile seçilen örneklem hakkında çeşitli hipotezler ileri sürülür. Çalışmanın sonuçlarının güvenilir olması için örneklem sayıca yeterli olması ve uygun bir biçimde evreni temsil etmesi gereklidir. Örneklem büyüklüğü bir çalışmanın gücünü doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. Araştırma konusu ile ilgili olan gözlem sayısı arttıkça verilerin güvenilirliği de artar (Maccallum, 1996). Küçük örneklem büyüklüklerinde etki büyüklüğü fazla olmasına rağmen bu farklar tespit

edilemeyebilir, buna karşın örneklem büyüklüğü gerekenden fazla olduğunda anlamsız olan farklar örneklem sayısının fazla olması nedeni ile anlamlı olark bulunabilir. Bu nedenlerden dolayı örneklem büyüklüğünün optimum seviyede tutulması önerilmektedir (Sacco, 1982; Mazen, 1987). Biz çalışmamızda örneklem büyüklüğünde meydana gelen artışın sonuçlara olan etkisini frekantist ve Bayesyen yaklaşım ile değerlendirmeyi amaçladık. Bu amaçla ilk olarak küçük örneklem büyüklüğünde yapılan karşılaştırmalar daha sonra örneklem sayısı artırılarak tekrarlandı ve çıkan sonuçlar değerlendirildi.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. OLASILIK TEORİSİ

Olasılık teorisi rastlantısal olaylar ile ilgilidir. Bu olaylar gerçekleşmesi şansa bağlı olan ve önceden kesin olarak bilinmeyen olaylardır. Bir olayın olasılığı $P(A)$ olarak belirtilir.

$P(\text{ilgilenilen olay}) = \frac{\text{ilgilenilen olayın sonucu}}{\text{toplam olay sayısı}}$ olarak tanımlanabilir.

Olasılık teorisinde olasılığın çeşitli tanımları bulunmaktadır. Laplace ve Bernoulli tarafından yapılmış olan klasik olasılık her mümkün sonucu eşit olasılıklı olan deneyler için kullanılır. Bir zar atışında denemenin altı sonucu olacağı için herhangi bir sayı gelme olasılığı $1/6$ olacaktır. Klasik olasılığa göre olasılık hesaplamalarında bazı kısıtlamalar mevcuttur. Sonuç sayısının belli olmadığı durumlarda klasik olasılık tanımı kullanılamaz (Erdem, 2007). Bir tesadüfi deney aynı koşullar altında n kez tekrarlanıyor ise A olayının f kez gerçekleşme oranına (f/n) relatif frekans denir. n artarken relatif frekansın bir limite yaklaştığı kabul edilir ve bu limite A olayının olasılığı denir (Koptur, 2020). Bir deneyi aynı koşullar altında çok fazla gerçekleştirmek mümkün olmayacağı için bu tanımda kısıtlayıcı bir tanımdır.

Olasılık önermeleri aşağıdaki gibidir

- Bir olayın olasılığı 0 ile 1 arasında bir değer alır.
- Bir örnek uzayının tüm sonuçlarının olasılıkları toplamı bire eşittir.
- Farklı olayların olasılıklarının birleşimi bu olayların olasılık toplamlarına eşittir.

Olasılık objektif ve subjektif olasılık olmak üzere iki grupta incelenir. Objektif olasılıkta olasılık hesabı matematiksel olarak incelenirken, subjektif olasılıkta olasılık deney ve tecrübeler ile yapılır.

Objektif olasılık matematikseldir. Hesaplara dayanır. Subjektif olasılıkta ise, objektif olasılığın aksine herhangi bir matematiksel hesaplama yapılmaz. Olasılıklar deney ve tecrübelerle dayanarak yapılır (Jeffrey, 2004). Olasılık tanımlarındaki farklar istatistikte frekansçı yaklaşım ve Bayesci yaklaşım olarak adlandırılan iki farklı yaklaşımın doğmasına neden olmuştur.

2.1.1 Ortak Olasılık: İki olayın aynı anda olma olasılığıdır. İki yada daha fazla seçkisiz değişkenin ortak olasılığı ortak olasılık dağılımı olarak adlandırılır. Objektif ve subjektif olasılığın önemli bir parçası ortak olayların değerlendirilmesidir. İki olayın ortak oluşu basitçe iki olayın birlikte olduğunu gösterir. Ortak olayların olasılıkları ortak olasılık olarak adlandırılır. Ortak olayların olasılıklarının hesaplanması bu olayların ayrık olup olmamasına göre değişir. Ayrık olayların ortak olasılığı 0'dır. Ayrık olmayan olayların olasılıkları bağımlı veya bağımsız olmasına göre değişir. Bağımsız olayların ortak olasılıklarının hesaplanması iki olayın olasılıklarının çarpımına eşittir. Ortak olasılık fonksiyonu rastsal değişkenlerin ortak olasılığını tanımlar ve $P(A_1, A_2, \dots, A_n)$ olarak belirtilir. Örnek olarak $P(\text{boy, uyruk})$ bir kişinin belli bir boy ve uyruğa mensup olma olasılığını gösterir. $P(\text{boy}=165 \text{ cm, uyruk}= \text{Türk}) = 0.5$ bir kişinin Türk ve 165 cm olma olasılığının 0.5 olduğunu ifade eder.

2.1.2 Marjinal Olasılık: Seçkisiz bir olayın diğer olaylardan bağımsız olarak olma olasılığıdır. Bir dizi rastsal değişkenin ortak olasılıkları biliniyor ise, bu değişkenlerden birinin marjinal olasılığı hesaplanabilir.

2.1.3 Koşullu Olasılık: Bir olayın başka bir olayın olma durumunda meydana gelme olasılığıdır. $P(A|B)$, B olayı olduğunda A olayının olma olasılığıdır. Bu durumda örneklem uzayı aslında B olayının tek başına olduğu bütün durumlar olarak özetlenebilir. Buna indirgenmiş örneklem uzayı da denilebilir. İki olayın bağımlı olma özelliği bir olayın oluşunun diğer olayın oluşunun olabilirliği hakkında bilgi vermesi olarak özetlenebilir. Bu özelliğin kullanılabilmesi için olaylar arasındaki ilişki açıklığa kavuşturulmalıdır. Bu değerlendirme koşullu olasılık olarak isimlendirilir. Bu olasılık aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$P[A|B] = \frac{P[A \cap B]}{P[B]}$$

2.1.4 Olayların Birleşimi: İki olayın birleşimi en azından birinin oluşu olarak açıklanabilir. Ayırık olayların olasılıklarının birleşimi iki olayın olasılıklarının toplamına eşittir. Ancak ayırık olmayan olaylar için olay daha komplekstir. Bu olayların olasılıklarının birleşimi ayrı ayrı olasılıklarının toplamından ortak olasılıklarının çıkarılması ile elde edilir.

A ve B olaylarının birleşimi;

$$A \cup B = (A \text{ veya } B)$$

A ve B olaylarının kesişimi ise

$$A \cap B = (A \text{ ve } B) \text{ olarak ifade edilir.}$$

Eğer A ve B olayları ayırık olayla ise $A \cap B = \emptyset$

İki olayın birleşiminin olasılığı

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Eğer ayrık olaylar söz konusu ise;

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

2.2 Toplam Olasılık Yasası

Temel olasılık kanunu A ve B gibi iki olayın sonlanımı için ortak olasılık söz konusu ise A olayının olasılığının B olayının olasılıkları ile toplanması ile bulunmasını ifade eder. Alternatif olarak B olayının olasılığı A'nın olasılıklarının toplanması ile elde edilir. Koşullu dağılım ve başka bir marjinal dağılımdan marjinal dağılımın hesaplanması birleştirme olarak adlandırılır.

Başka bir ifade ile; S örneklem uzayında $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ olaylarının bulunuyorsa, B olayının olasılığı her A olayı ile B olayının kesişiminin toplamından oluşur.

$$P(B) = P(B \cap A_1) + P(B \cap A_2) + P(B \cap A_3) + \dots + P(B \cap A_n)$$

Toplam olasılık yasası diğer parametreler bilindiğinde bilinmeyen kesişim olasılıklarının bulunması için kullanılır.

2.3. OLASILIK DAĞILIMI

Olasılık dağılımı rastsal bir değişkenin verilen bir aralıkta alabileceği değerleri ve olabirlikleri tanımlayan istatistiksel bir fonksiyondur (Brewer, 2017). Bu aralık minimum ve maksimum olası değerler ile sınırlanmıştır, olası değer neredede olduğu çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler ortalama, standart sapma, eğiklik ve çarpıklıktır. Genellikle olayları meydana getiren veriler olasılık dağılımının nasıl olacağını yönlendirir. Tek bir rastsal değişken için olasılık dağılımı iki tip olabilir. Rastsal değişkenin sürekli veya kesikli olmasına göre olasılık dağılım fonksiyonu farklılaşır. Kesikli bir rastsal değişken sadece sayısal değerler alabilir ve nicelleştirilebilir.

Kesikli bir rastsal değişkenin olasılık dağılımı olası değerlerin her biri ile ilişkili olasılıkların listesidir. Buna olasılık kütle fonksiyonu denir. Sürekli rastsal değilken sonsuz sayıda değer alabilir, bu değer bir aralık içinde tanımlandığından, o aralıkta olma olasılığı eğrinin altında kalan alan ile temsil edilir. Sürekli rastsal değişkenin olasılık dağılımına olasılık yoğunluk fonksiyonu adı verilir. Bu fonksiyon için olasılık her zaman pozitif bir değer alır ve fonksiyonun altında kalan 1'e eşittir. Olasılık dağılımları kümültatif dağılım fonksiyonlarının oluşturulması için de kullanılabilir. Bu durumda olayların olasılıkları toplanarak sıfırdan %100'e ulaşılır.

İstatistiksel modellemede kullanılan kesikli olasılık dağılımları Poisson dağılımı, Bernoulli dağılımı, binom dağılımı, geometrik dağılım, tekdüze dağılım ve negatif binom dağılımıdır.

2.3.1 Binom Dağılımı

Binom dağılım biyoistatistik ve epidemiyolojide en faydalı dağılımlardan biridir. Binom dağılımı kesikli bir olasılık dağılımıdır. İlgilenilen olayın dikotom olması ve birbirinden bağımsız olarak gerçekleşmesi durumunda kullanılır. Burada başarı olasılığı p, başarısızlık olasılığı 1-p olarak hesaplanır. N sayıda deneme sonucunda elde edilen başarı sayısının ayrık olasılık dağılımı binom dağılımı olarak ifade edilir. Binom dağılımı n ve p değerleri ile ifade edilir. Eğer deneme sayısı bir ise bu Bernoulli denemesi olarak adlandırılır. N denemeden k sayıda başarı elde etme olasılığı;

$$F(k; n, p) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

formülü ile ifade edilir.

Bu dağılımın ortalaması (m) $m=Np$ olarak hesaplanır.

Varyans ise $s^2 = Np(1-p)$ 'dir.

Binom dağılımı bir denemenin belirli sayıda tekrarlanması durumunda kullanılabilir. Binom modelinin kullanılabilmesi için aşağıdaki şartlar gereklidir.

- Deneme belirli n sayıda yapılmalıdır,
- Her denemenin iki farklı sonucu vardır,
- Her deneme için başarı olasılığı sabittir,
- Her deneme birbirinden bağımsızdır.

Bir hastalık ile ilgili olarak hastaneye yatış oranını hesaplamak istiyoruz. Eğer hastane yatış olasılığını biliyorsak, 100 hastadan kaçının hastaneye yatacağını hesaplayabiliriz. Hastaneye yatacak olan k hasta sayısı 0 ile 100 arasında değişebilir. Hastaneye yatacak olan hastaların olasılık dağılımı, hastane yatış olasılığına " θ " bağlıdır. Eğer θ küçük bir değer ise hastaneye yatan kişi sayısı düşük, θ yüksek bir değer ise yüksek olacaktır. Araştırmacı θ değerini bilmiyor ise bu durumda hastane yatışlarını θ 'nın olasılık dağılımını izleyerek bulabilir (Gordon, 2013).

2.3.2 Negatif Binom Dağılımı

Negatif binom dağılımının binom dağılımından iki farklı özelliği vardır. Deneme sayıları sabit değildir ve k sayıdaki başarının elde edilmesi için n sayıda deneme gereklidir. Negatif binom dağılımı k. başarının n. denemede gerçekleşme olasılığını hesaplamada kullanılır. Bu durumda k-1 başarı n-1 denemede elde edilmiştir ve binom dağılımı ile olasılık hesaplanır. Bu dağılıma negatif binom dağılımı denilmesinin sebebi başarısızlıkların sayılmasından dolayıdır.

$$P [n - 1 \text{ denemede } k - 1 \text{ başarı}] = \binom{n-1}{k-1} p^{k-1} (1-p)^{n-k}$$

ek olarak k. başarı n. denemede elde edilmiştir.

$$P [n^{\text{inci}} \text{ denemede } k^{\text{inci}} \text{ başarı}] = \binom{n-1}{k-1} p^k (1-p)^{n-k}$$

Binom ve negatif binom dağılımı arasındaki benzerlik kafa karıştırabilir. Binom dağılımında deneme sayısı sabittir ve başarı sayısı rastgeledir. Negatif binom dağılımında ise başarı sayısı sabittir ve deneme sayıları rastlantısaldır.

Binom ve negatif binom dağılımı biyoistatistikte kullanılan önemli araçlardır. İkisi de θ yani olay olasılığının sabit olduğunu varsayar. Ancak olasılık sabit olmasına rağmen, belirsiz olduğu durumlarda olabilir. θ 'nın kesin değerinin bilinmediği ancak olası değerlerin kullanılabileceği durumlarda temel olasılık kanunu kullanılarak olayların (binom dağılımı) veya belirli bir olay için deneme sayılarının (negatif binom dağılımı) koşulsuz dağılımı bulunabilir.

2.3.3. Poisson Dağılımı

Poisson dağılımı bir olayın belli bir sabit zaman dilimi içerisinde meydana gelme olasılığını ifade etmektedir. Eğer olayların ortalama gerçekleşme sayısı biliniyorsa Poisson dağılımı ile bu olaylar için çıkarım yapılabilir. Poisson dağılımı bir Lambda parametresi ile ifade edilir ve olasılık kütle fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir. Poisson dağılımı kesikli dağılımlar içinde Binom dağılımından sonra yaygın olarak kullanılan bir dağılımdır (Donovan, 2019).

$$P [X_t = k] = P_k [t] = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$$

Poisson dağılımı tek bir parametreye bağlıdır. Burada λ , t zaman diliminde meydana gelen k olay sayısını ifade etmektedir. Poisson dağılımı sadece λ parametresine bağlıdır. λ değeri büyüdükçe Poisson dağılımı normal dağılıma yaklaşır. Poisson dağılımının varyansı λ ile aynıdır. Yani λ büyüdükçe Poisson dağılımının yaygınlığı artar. Genellikle Poisson dağılımı büyük sayıda olay ortaya çıkabilmesi mümkün olduğu ama bu olayların nadir olarak kabul edildiği sistemlerde uygulanabilir (Consul, 2006). Binom dağılımının büyük sayılar için hesaplanması uzun hesaplamalar gerektirdiği için Poisson dağılımı yaklaşık olarak binom dağılımı yerine kullanılmaktadır.

Örnek: Bir topluluğa anjina pektoris vakalarının yılda $\lambda = 6.6$ oranında ortaya çıktığını varsayalım. Bu şekilde yıllık ortaya çıkış sayısını zaman ile çarparak beklenen vaka sayısı hesaplanabilir. Ancak bu sadece ortalama ve hasta sayısının belirli bir zaman diliminde dağılımını gösterilmek istendiğinde poisson dağılımını kullanılır.

$$P [X_t = k] = P_k [t] = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$$

Bu bilgiden yola çıkarak bir yılda anjina pektorisi olan 8 kişinin ortaya çıkışı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$P [X_t = 8] = (6.6)^8 e^{-6.6} / 8! = 0.122 \text{ olarak bulunur.}$$

Eğer 3 yılda 30 vakanın ortaya çıkışını hesaplamak istiyor isek;

$P [X_t=30] = (3 (6.6))^{30} e^{-3(6.6)}/30! = 0.0075$ olarak hesaplanır. Yani vakalarının ortaya çıkış hızı homojen olduğu müddetçe çeşitli zaman aralıklarında olayların oluşma hızı için kullanılabilir (Moye, 2013).

2.3.4. Tekdüze Dağılım

Bu olasılık dağılımı genel olarak olasılıkçılara ve özellikle Bayesçilere çok faydalı bir dağılımdır. Tercihli olmayan bir şekilde olasılık ataması önsel dağılımın inşa edilmesi konusunda Bayesçi olasılıkçıların ilgisini çekmiştir.

Bir zarın atılması ya da bir hastanın iyileşmesi gibi durumlarda olasılık için tek bir sayı atanır. Bu atama sınırlı sayıda (binom dağılımında başarılı denemeler) veya sınırsız sayıda (deneme sayısının belli bir sayıda başarı elde edilene kadar devam etmesi; negatif binom dağılımında) olabilir. Tamamlayıcı cebir, kesişim ve birleşim kullanılarak olaylar birleştirildiğinde bu noktaların olasılıkları toplanır veya çıkarılır. Ancak, olasılığı doğru ölçmek için ölçümümüzü değiştirmemiz gereken ve olasılığın farklı şekilde atanmasına ihtiyaç duyulan durumlar vardır.

Ayrık tekdüze dağılım örnek uzayında olabilecek olayların eşit olasılığa sahip olduğu bir dağılımdır. N büyüklüğündeki bir örnek uzayında her bir olayın gerçekleşebilme olasılığı $1/n$ 'dir. Sürekli tekdüze dağılım ise her sürekli değişken için aynı sabit olasılık gösteren bir olasılık dağılımıdır. Bir aralığın olasılığı basitçe o aralığın uzunluğudur ve eşit uzunluğa sahip olan aralıklar eşit olasılığa sahiptirler. Genel olarak olasılık atamalarında aralık hesabından daha çok eğri altında kalan alan olarak hesaplamak daha faydalıdır. Sürekli tekdüze dağılımda eğri altında kalan alan dikdörtgensel bir bölgedir (Moye, 2013). Tekdüze dağılım dikdörtgensel dağılım olarak da adlandırılabilir. Tekdüze dağılım eğrisi altındaki alan olasılığı temsil eder ve bu alan 1'e eşittir. Dağılımın herhangi bir noktasındaki yükseklik yoğunluk olarak adlandırılır.

2.3.5. Üstel Dağılım

Sürekli bir olasılık dağılımıdır, belirli bir zaman aralığı ile ortaya çıkan bağımsız olaylar arasındaki zaman aralığını modelleştirirken ortaya çıkar (Rather, 2017). Üstel dağılım genellikle spesifik bir olayın oluşuna kadar geçen zaman ile ilgilenir. Örnek olarak deprem olana kadar geçen zaman üstel dağılım gösterir. Bir olayın devamlı ve bağımsız olarak belli bir hızda gerçekleşmesi sürecidir. En önemli özelliği belleksiz oluşudur. Üstel rastsal değişken çok sayıda küçük değer ya da az sayıda büyük değer alabilir. Üstel dağılım yoğunluk fonksiyonu olaylar arasındaki zamanı gösterir. Üstel dağılım özellikle sağkalım ve güvenilirlik analizinde kullanılan bir dağılımdır. Bu dağılım tek bir parametreye sahiptir. Parametresi ise sabit hazard fonksiyonu β 'dır. Yüksek β değerleri yüksek risk ve kısa sağkalımı, düşük β değerleri düşük risk ve yüksek sağkalım oranını belirtir.

Θ olasılığının marjinal dağılımı Bayesçiler için θ 'nın önsel dağılımıdır. Bayesyan bakış açısı ile birleştirme θ 'nın önsel bilgisinin güncel bilgi ile birleştirilmesidir. Ancak frekantist yaklaşımclar birştirmenin Bayesçi olmadığını koşullu olasılığın basit bir kullanımı olduğunu savunurlar. Bayesyan yaklaşımda her olasılık dağılımının koşullu olduğu düşünülür (kendi parametresine bağlıdır), tekbaşlarına kendi dağılımları vardır. Bu birleştirmenin can alıcı noktasıdır. Bayesçi düşüncede temel kural gözlenen dağılımın doğadaki bir olayın incelenmesi ile açıklanamaması durumunda birleşik dağılım olasılığının düşünülmesidir.

Bir enfeksiyon nedeni ile n kişinin enfekte olduğunu ve bu nedenle ölüm sayılarının dağılımının yapılması ile ilgilendiğimizi düşünelim. K sayıdaki ölüm olasılığı (P_k)'nı hesaplamak istiyoruz. Bu olay dikotom olduğu için binom dağılımına uygudur. Burada P_k , p (olasılık) değerine bağlıdır. Ancak örneğimizde p zamana bağlı bir parametredir. Yani kişi ne kadar uzun yaşarsa ölüm olasılığı

o kadar azalır. Kişilerin sağkalım oranının sağkalım oranı ile ilgili olan v parametresi ile ilgili olduğunu düşünebiliriz. Sabit bir zaman diliminde bu değer ne kadar yüksek ise sağkalım o kadar fazla olacaktır. Bu parametrenin bağımsızlık ile ilgili olduğunu düşünebiliriz ancak kişiler arasındaki bağımsızlık faktörü aynı olmadığı için v faktörü sabit olmayacaktır. Ancak kendine has bir olasılık dağılımı olacaktır. İşte burada birleştirme işlemi kullanılabilir. v 'nin olasılık dağılımı için üssel dağılım kullanılabilir. Burada sıradaki işlem k 'nın v üzerindeki koşulsuz olasılık dağılımını hesaplamaktır. Bu hesaplama sonucunda ölüm sayılarının koşulsuz dağılımı kişi sayısı, zaman ve λ koşulsuz dağılımının parametresinden oluşur.

2.3.6. Gamma Dağılımı

Gamma dağılımını iki parametrelili sürekli bir olasılık dağılımıdır. Nadir olarak ham formunda kullanılır. Genellikle üstel ve ki kare gib dağılımlar ile ilişkilidir. Gamma dağılımı gelecekte olan olayların bekleme süresini tahmin etmek amacı ile kullanılan bir dağılımdır. Üstel dağılımdan farkı üstel dağılımın ilk olaya kadar bekleme süresini tahmin etmesi buna karşı gamma dağılımının x .inci olay meydana gelene kadar geçen süreyi tahmin etmesidir. Bu dağılım Poisson dağılımı ile birleştirildiğinde önemli bir kullanım alanına sahiptir. Gamma dağılımının α ve β olmak üzere iki parametresi vardır. Burada $\alpha = k$ şekil parametresi ve $\beta = 1/\theta$ olan oran parametresidir. Farklı α ve β değerleri için farklı olasılık yoğunluk fonksiyonları elde edilir. Gamma dağılımının bazı özel α ve β değerleri için özel dağılımlar elde edilir. $\alpha=1$ ise üstel dağılım $\alpha=\frac{r}{2}$ ve $\beta=2$ ise r serbestlik dereceli ki-kare dağılımı elde edilir.

2.3.7. Beta Dağılımı

Beta dağılımı verisetinin olası sonuçlarını temsil eden bir olasılık dağılımıdır. Bu dağılım esas olarak olasılıkların olasılığını gösterir, α ve β değerleri başarı/başarısızlığın olasılığına göre herhangi bir değeri alabilir. Beta dağılımın olasılık yoğunluk fonksyonu 0 ile 1 arasında değerler alır. Beta dağılımı genel olarak örneklem uzayında herhangi bir şeyin değişimini incelemek amacı ile kullanılır. Ayrıca Bayesyan analizde binom oranlarının önsel dağılımı olarak kullanılmaktadır (Gupta, 2018). Bayesyen çıkarımda beta dağılımı, Bernoulli, binom, negatif binom ve geometrik dağılımların bileşik önsel olasılık dağılımıdır.

2.3.8. Normal Dağılım

İstatistikte en sık kullanılan olasılık dağılımıdır. Normal dağılım ortalamaya göre simetrik olan bir olasılık dağılımıdır ve ortalamaya yakın verilerin ortalamadan uzak verilerden daha sık ortaya çıktığını gösterir. Grafik biçiminde, normal dağılım bir çan eğrisi olarak görünür. Normal dağılımın avantajı bu dağılımdan olasılıkları üretilmesinin kolaylığıdır. Bu dağılım tek bir dağılımdan daha çok bir dağılım ailesi olarak söylenebilir. Sonsuz sayıda normal dağılım ve bunlara ait ortalama μ ve varyans σ^2 değeri vardır. Ortalama, dağılımın lokalizasyonunu, varyans ise yaygınlığını karakterize eder.

2.4. İSTATİSTİKSEL ÇIKARIM

İstatistiksel çıkarsama süreci örneklemde elde edilen verilere dayanarak kitle ile ilgili tahmin yapmaya yönelik bir süreçtir. İstatistiksel çıkarım istatistiğin ana amaçlarından biridir. Anakütle, popülasyon olarak da adlandırılabilen kitle, bir istatistiksel problemde konu ile ilgili olan birimlerin tamamına verilen isimdir (Yücel, 2010). Kitle ile ilgili ölçümlere parametre adı verilir. Örnek olarak kitleye ait varyans (σ^2), standart sapma (σ) ve ortalama (μ) parametredir. Anakütleyi

tahmin etmek amacı ile elimizde bulunan bilgiye veri denir. Bu veriler ile anakütle parametreleri hakkında tahmin yapabilmemizi ise modeller sağlar. Frekantist istatistiksel yaklaşıma göre veriler rastgeledir, parametreler ise bilinmeyen ve sabittir. Buna karşın Bayesyen yaklaşıma göre veriler sabittir, gözlemlendikten sonra değişmezler, parametreler ile rastgele olarak değerlendirilir (Koptur, 2020). İstatistiksel hipotez testi Bayesyen ve frekantist istatistik arasında farklılıklar göstermektedir.

İstatistiksel çıkarımda ilk aşama hipotez kurulmasıdır. Grupların ortalamalarının karşılaştırılmasında öncelikli olarak sıfır hipotezi (H_0) kurulur. Ortalamalar arasında fark yoktur cümlesi sıfır hipotezi için genel bir ifadedir. Hipotezin test edilmesi için veri toplanır ve sonuçlar değerlendirilir. Eğer sonuçlar sıfır hipotezi ile aynı ya da çok az farklı ise H_0 hipotezi reddedilemez. Ancak veriler sıfır hipotezinden farklı ise H_0 hipotezi reddedilir. H_0 hipotezi doğru ya da yanlış olabilir. İstatistiksel karar verme mekanizmasında tablo 1 de gösterilen 4 farklı durum oluşabilir. Verilebilecek 2 doğru karar doğru H_0 hipotezinin kabulü ya da yanlış H_0 hipotezinin reddidir. Ancak iki doğru olmayan durum ise yanlış H_0 hipotezinin kabulü ya da doğru H_0 hipotezinin reddidir. Tip 1 hata ya da α hata doğru olan H_0 hipotezinin reddi anlamına gelmektedir. Buna karşın tip II hata ya da β hata yanlış olan H_0 hipotezinin kabul edilmesidir.

Tablo 1: Tip 1 ve tip 2 hata.

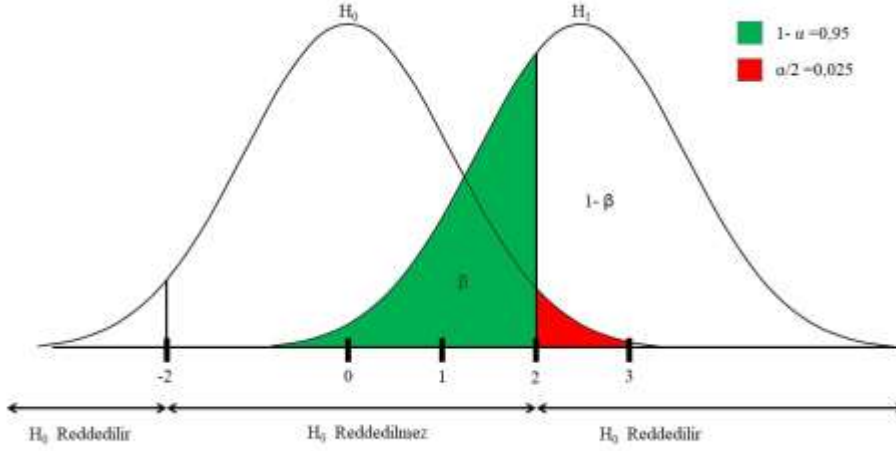
	Gerçek durum	
Karar	H_0 doğru	H_1 doğru
H_0 kabul	Doğru karar ($1-\alpha$)	Tip II hata (β)
H_0 red	Tip 1 hata (α)	Doğru karar ($1-\beta$)

Tip I ve II hatanın şematik olarak gösterilmesi: Şekil 1’de sıfır ve alternatif hipotezlerin (H_1) dağılımları gösterilmiştir. Sıfır hipotezi populasyon ortalamasının sıfır olduğu normal bir dağılımı göstermektedir. H_1 hipotezi ise ortalaması 3 olan farklı bir populasyonu göstermektedir. Bu örnekte standart hata 1 olarak kabul edilmiştir. Sıfır hipotezi 0.05 alfa değeri ile kritik değer 1.96’dır gözlenen değer ± 1.96 arasında ise H_0 kabul edilir. Bunun aksine gözlenen değerler bu değerlerin dışında ise alternatif hipotez kabul edilir.

Tip II hata H_1 dağılımında 1.96 değerinden daha düşük değerleri alan alan olarak gösterilmiştir.

Tip II hata alternatif hipotez açık bir değer öne sürdüğünde hesaplanabilir. Örnekte alternatif

hipotezin değeri 3 olarak alınmıştır. Kritik değer ortalamadan yaklaşık olarak 1 standart hata kadar küçüktür ve $z = -1$ değerine sahiptir. Z değerinden küçük olan değerler sarı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 1 : Tip I (α) ve Tip II (β) hatanın gösterilmesi

İstatistiksel çıkarımda hata yapmak kaçınılmazdır ve hata oranının kontrol edilmesi gereklidir. Genel olarak tip I hatanın daha riskli olduğu kabul edilir ve bu nedenle tip I hatanın kontrolü daha sıkı bir şekilde yapılır. Tip I ve tip II hata yakından ilişkilidir. Diğer tüm şartlar aynı kaldığında tip I hatanın azaltılması tip II hatanın artışı ile birlikte olur. Alfa hata 0.05'den 0.01'e düşürüldüğünde kritik değer ± 2.58 değerine doğru kayar. Bunun sonucunda beta değeri 0.34 olur. Bu nedenle hata seviyesinin belirlenmesi her iki hata tipinin düşünülmesini gerektirir.

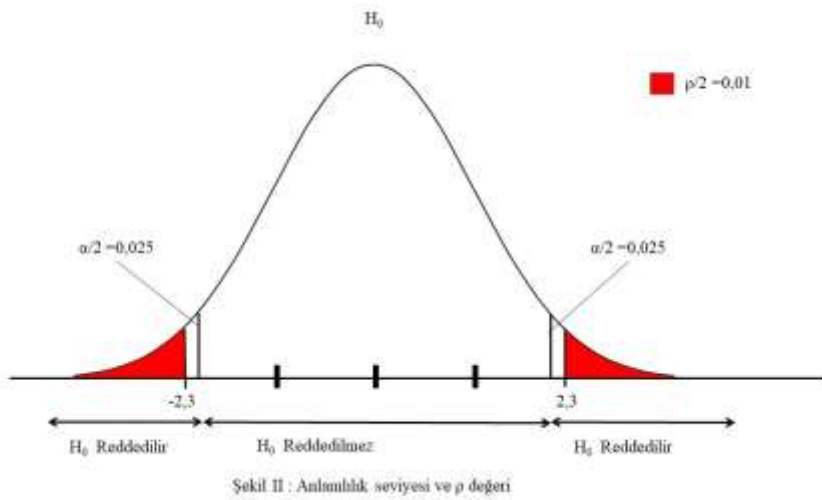
H_0 ve H_1 hipotezleri arasındaki mesafe büyüdükçe beta değeri küçülür.

Örnekleme büyüklüğünün artması standart hatayı azalarak (standart sapma/ $\sqrt{\text{örnekleme büyüklüğü}}$) daha konsantre ve ince dağılımların ortaya çıkmasına neden olur. Böylece sıfır hipotezi ve alternatif hipotezin kesişme alanları küçülür. Örnekleme büyüklüğü arttıkça alfa ve beta hataları azalarak daha tatmin edici sonuçlar elde edilir (Kim, 2015) .

Tip I hata sıklıkla anlamlılık düzeyi olarak adlandırılır. İstatistiksel testte alfa değeri 0.05 olarak alınmışsa ve gözlenen değer 0.05 değerinden daha uç bölgelerde yer alıyor ise sıfır hipotezi reddedilir. Anlamlılık düzeyi genel olarak p değeri olarak ifade edilir. P değeri sıfır hipotezinin doğru olması durumunda gözlenen değer p değerinden daha uç değerler olma olasılığı olarak tanımlanabilir. P değeri ilk defa Fisher tarafından tarımla ilgili deneyler yaparken geliştirilmiştir. Bugünlerde çoğu araştırma yüzlerce p değerini hesap etmektedir. P değeri mutlak bir ölçüm değildir. Küçük bir p değeri iki tedavi arasında çok büyük bir fark olduğunu yada parameterler arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermez ve örneklem uzayına bağlıdır. P değeri tüm kanıtları hesaba katmaz

Şekil 2’de tip I hata seviyesi 0.05 alındığında iki uçlu 0.02 değeri göstermektedir.

Bu durumda z değeri ± 2.3 ’tür ve reddetme bölgesinde yer almaktadır.



İstatistiksel güç: Güç yanlış sıfır hipotezini reddetme olasılığıdır. Güç (1-tip II hata) olarak hesaplanır. Tip I ve II hata arasındaki ilişki nedeni ile her ikisi için gerekli olan minimum değer seçilmelidir. Yeterli örneklem büyüklüğü tip I hatayı 0.05 veya 0.01 civarında gücü ise 0.8 ile 0.9 arasında tutmalıdır (Rosner, 2006).

P değeri ve alfa seviyeleri frekantist istatistiğin konuları arasına girmektedir. Bayesyen yaklaşım ise alternatif bir yaklaşım sunmaktadır. Bayesyen yaklaşım parametrelerin ve hipotezlerin olasılıkçı tanımlamalarının yapılabilmesine imkan sağlar (Gelman, 2014). Verilen önsel dağılıma göre sıfır hipotezinin alternatif hipotez ile karşılaştırılmasını Bayesyen yaklaşım sağlar. Bayesyen hipotez testinin popüler bir uygulaması olan Bayes faktörü önsel dağılımı göz önüne alarak iki hipotezden hangisinin seçileceği konusunda bir fikir verir. Bayesyen çerçeve parametre hesaplamasını da içerir. Bayesyen karşılaştırma modelleri iki model arasındaki kanıtları ölçerek seçimi kolaylaştırır (Morey, 2014). Bir parametrenin önsel dağılımının yapılması Bayesyen yaklaşımın en önemli özelliklerinden biridir.

Kelter R. yapmış olduğu çalışmada Bayesyen iki örneklem testlerinin hafifçe artmış tip II hata kontrolü ile beraber daha iyi tip I hata kontrolü sağladığını göstermiştir (Kelter, 2021). Yine bu çalışmada örneklem büyüklüğündeki artışın hem Bayesyen hem de frekantist yaklaşımda tip II hata oranını sıfıra kadar çektiği gözlemlenmiştir. Bayesyen testler frekantist testlere göre aynı tip II hata oranı için daha yüksek örneklem büyüklüğüne ihtiyaç duymuştur. İki grup arasında küçük farkları tespit etmek için Bayesyen testler aynı tip II hata oranı için daha yüksek örneklem büyüklüğüne ihtiyaç duyar. Orta veya büyük etki büyüklükleri için durum daha az problemlidir. Küçük örneklem büyüklükleri için daha fazla araştırma yapılması ve Bayesyen tetlerinin güvenilirliğinin araştırılması gereklidir (Kelter, 2021). Bu çalışmada frekantist testlerin tüm örneklem büyüklükleri için tip I hatayı azaltmada daha kötü olduğu saptanmıştır. Yine Kelter yapmış olduğu bir simulasyon çalışmasında Bayesyen parametric olmayan iki-örneklem testlerinde tip I hata oranlarının Mann-Whitney U testine göre daha düşük olduğunu göstermiştir. Buna karşın Bayesyen iki örneklem testlerinin gücü hafif olarak daha düşük çıkmıştır (Kelter,

2022). Bayesyen testlerin tip I ve II hata oranlarını kontrolü ve mevcut olan bir farkı tespit edebilmesi önsel modellemenin gücüne bağlıdır.

2.4.1. Olabilirlik (likelihood) Fonksiyonu

Olabilirlik kavramı ilk defa Fisher tarafından ortaya atılmıştır. Stokastik bir model parametrelerinin fonksiyonu olarak gözlenen verinin akla yatkınlığını belirtir. Parametrelerin bir fonksiyonu olarak olabilirlik, olabilirlik fonksiyonu olarak isimlendirilir. Olabilirlik fonksiyonuna dayanan istatistiksel sonuç, frekantist yaklaşımda kullanılan p değerine dayalı sonuçtan temelde farklıdır. Olabilirlik fonksiyonuna dayanan çıkarımlar olabilirlik prensiplerine dayanmaktadır. Bu prensipler şu şekilde sıralanabilir (Heard, 2021). Bilinmeyen bir kütle θ ile ilgil olan bir deneyden elde edilen tüm kanıtlar, verilen bilgilere dayanarak oluşturulan olasılık fonksiyonun içindedir.

- θ için iki olasılık fonksiyonu eğer birbiri ile orantılı ise aynı miktarda bilgi içerir.

2.4.2. Frekantist ve Bayesyen yaklaşım

Olasılık tanımlamalarındaki farklar frekantist (klasik) ve Bayesyen yaklaşımların doğmasına neden olmuştur. Frekantist yaklaşımda bir ret bölgesi oluşturularak ilişkili olasılıklar hesaplanır. Frekantist yaklaşımda kullanılan α ve β hatalarının kullanımı çeşitli araştırmacılar tarafından eleştirilmiştir. Bu eleştirinin temel nedeni bilinen veri tarafından sağlanan veriyi yansıtmamasıdır (Terzi, 2008). Bayesyen yaklaşımda bir olayın olasılığı o olayla ilgili olan ön bilgi ile verilerin birleştirilmiş halidir. Bayesyen istatistikte kullanılan olasılık tümevarım olasılığıdır (Ekici, 2009). Burada amaç denemeler yaparak en yüksek olasılığa ulaşmaktır. Bayesci yaklaşımın hipotez testlerinde ilk kullanımı 1961 yılında olmuştur (Jeffreys, 1961). Bayesyen istatistik ilkelerine göre herhangi bir teori önerme ya da ilişkideki belirsizlikler olasılıklarla ifade edilmelidir. Buna karşın

frekantist yaklaşımda bu belirsizlikler sıklıklarına göre değerlendirilerek bir sonuca varılmalıdır. Bayesyen yaklaşım bir teoriyi tamamen kabul etmek veya reddetmenin bilginin oluşturulmasında yanlısamalara neden olabileceğini ve belirli olasılıkların hesaplanması ile bu ilişkinin aydınlatılması gerektiğini savunur (Ekici, 2009).

Bayesçiler ve frekantist yaklaşımçılar olasılık dağılımının parametrelerinin önemli olduğunu vurgulamaktadırlar. Bu dağılımları bilmeden pek çok temel olayın olasılıkları hesaplanamaz. Bayesciler her zaman, frekantist yaklaşımçılar bazen x olayının olasılık dağılımını $P[x/\theta]$ ya da $f(x/\theta)$ olarak gösterirler. Bu ifade x 'in olasılık dağılımı ile bu dağılımın dayandığı parametre arasındaki ilişkiyi gösterir. Ancak genellikle parametrenin (θ) değeri bilinmez. Frekantist yaklaşımçılar θ 'nın bir değeri olduğunu kabul ederler. Ancak Bayesci yaklaşıma göre θ değişkendir. Bayesciler bu bilgiyi önsel dağılımda kullanırlar ($P[\theta]$ veya $\pi(\theta)$).

2.4.3. Bayes Teoremi

Bayes teoremi ilk defa matematikçi, teolog ve yazar İngiliz Thomas Bayes (1702-1761) tarafından ortaya atılmıştır (An Essay Towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances). Bayes'in yazmış olduğu yazı ölümünden sonra arkadaşı Richard Price tarafından bulunarak 1763 yılında basılmıştır. Bayes teoremi 18.yüzyılın sonlarında ortaya atılmasına karşın, 19. ve 20. yüzyılın ilk yarısı Bayesci fikirler açısından karanlık bir dönem olmuştur. 20. Yüzyılın ortalarında Bayesyen metodlara karşı ilgi De Finetti, Jeffreys, Savage, ve Lindley gibi bazı bilim adamları tarafından artmış ve Bayes teoresine dayanan yeni bir istatistiksel yaklaşım geliştirmişlerdir. Bayes teoremi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Bu eşitlikte $P(A|B)$, A'nın B'ye göre koşullu olasılığıdır.

$$P(A \cap B) = P(A|B) * P(B)$$

şeklinde yazılabilir.

A ve B'nin ortak olasılığı A'nın B olayına bağlı koşullu olasılığı ile B'nin marjinal olasılığının bir ürünüdür. Buradan;

$$P(B|A) = \frac{P(B \cap A)}{P(A)}$$

$$P(B \cap A) = P(B|A) * P(A)$$

Şeklinde yazılabilir. Yani B ve A'nın ortak olasılığı, B'nin A olayına bağlı koşullu olasılığı ile A'nın marjinal olasılığının bir ürünüdür.

$$P(A|B) * P(B) = P(B|A) * P(A)$$

şeklinde yazılabilir.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) * P(A)}{P(B)}$$

Buradan da anlaşılacağı gibi Bayes Teoremi koşullu olasılığın hesaplanmasının bir yöntemidir. Bayes teoremi $P(A/B)$ 'den $P(B/A)$ ters olasılığını hesaplayabilmemizi sağlar. Buna 'Ters Olasılık Teoremi' adı verilir.

Örnek: Bir testin duyarlılık ve özgüllüğünden o testin pozitif ve negatif prediktif değeri hesaplanabilir. Duyarlılık gerçek pozitif oranı olarak da ifade edilebilir. Diğer bir deyiş ile bir test ya da teşhis yönteminin hastalığı taşıyanları hangi oranda tespit ettiği anlamına gelir. Duyarlılık sadece hasta bireylere doğru teşhis yapılmasını ölçer, bu arada kaç sağlıklı kişiye hasta teşhisi konulduğu önemli değildir. Özgüllük ise gerçek negatif oranı olarak da adlandırılır. Bir test ya da teşhis yönteminin hasta olmayan bir hastaya negatif teşhis koyma oranıdır. Özgüllük hesaplanırken kaç hastaya doğru şekilde teşhis konulduğu hesaba katılmaz. Bir test ya da teşhis aracının başarılı olması için hem yeteri kadar duyarlı hem de yeteri kadar özgün olması gerekir.

A pozitif tanısal test, B ise hasta kişi olsun. Eğer olay gerçekleşmemiş ise B^c (kişi hasta değildir), veya A^c (tanısal test negatiftir). Bayes teoremi A olayının B olayının olma durumundaki olasılığını ya da B olayının A olayının olma durumundaki olasılığını tanımlar. Bayes teoremin göre duyarlılık $p(A/B)$, özgüllük ise $p(A^c/B^c)$ olarak ifade edilir. Pozitif prediktif değer bir kişinin pozitif test olması durumunda hasta olması, negatif prediktif değer ise negatif test sonucu durumunda kişinin hasta olmamasıdır. Olasılık terimleri ile pozitif prediktif değer $p(B/A)$, negatif prediktif değer ise $p(B^c/A^c)$ olarak ifade edilir. Pratikte bir tanısal testin prediktif değerlerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bayes teoremi bir testin pozitif veya negatif prediktif değerini duyarlılık ve özgüllüğün bir fonksiyonu olarak verir.

Şeker hastalığının tanısı için geliştirilen bir testin duyarlılığının 0.80, özgüllüğünün 0.90 olduğunu farzedelim. Hastalık prevalansı 0.12 olsun. Farklı populasyonlar için bu testin prediktif değerini

hesaplamak istiyoruz. Dünyada diyabet prevalansı %3 ise, diyabetik olanlar D^+ , olmayanlar D^- , pozitif tarama testi T^+ , negatif tarama testi T^- olarak belirtildiğinde;

$$P(D^+ \setminus T^+) = \frac{P(T^+ \setminus D^+) * P(D^+)}{P(T^+ \setminus D^+) * P(D^+) + P(T^+ \setminus D^-) * P(D^-)}$$

Bayes teormine göre bu şekilde yazılabilir.

$P(B) = 0.03$ için

Pozitif prediktif değer 0.20 olarak hesaplanır.

Bayesyen çıkarım alternatif hipotezler ve yeni veriler ile hipotezi günceller. Bayes Teoreminde hipotezler belirlenir. Hipotezlerin olasılıklarının toplamı bir olmalıdır. Bayesyen çıkarım sıklıkla parametre tahmini için kullanılır, bu analiz genel olarak olasılık yoğunluk fonksiyonunu kullanır. Eğer bir olayın olasılığı bilinmiyorsa parametre tahmini problemi ile karşı karşıya kalınır. Bu durumda her p değeri için bir önsel dağılım atamak gereklidir. Önsel dağılımlar hipotezler hakkındaki düşünceleri temsil eder. Her hipotez için verilerin olasılığının hesaplanması olabilirlik olarak adlandırılır. Olabilirlik Bayesyen çıkarımın en zor bölümüdür. Veriler toplandıktan sonra verilerin hipotezler altındaki olabilirliği hesaplanır. Sonuçta her hipotez için sonsal olasılık hesaplanır. Bayesyen çıkarımda rastsal bir değişken için olasılık dağılımı için koşullu olasılıklar ile marjinal olasılıklar arasındaki ilişkiyi gösterir. Olabilirlik sonuçları belli olan geçmiş olayları ifade ederken, olasılık gelecekte olacak olan olaylar ile ilgilenir. Bayesyen analizde olabilirlik verilen hipotezde verilerin gözlenebilme olasılığı olarak yorumlanabilir. Bayesyen analiz önsel dağılım kullanılmadan yapılamaz. Verilerin olabilirliğini kestirmek için bir miktar bilginin toplanması gerekmektedir. Tüm hipotezler için eşit olasılık var ise bu duruma bilgi verici olmayan

önsel adı verilir. Olabilirlik fonksiyonuna göre önsel dağılım düz ise buna bilgi verici olmayan önsel dağılım denilir (Öztürk, 2017).

Bilgi verici olmayan önsel dağılım Bayesyen çıkarıma katkıda bulunmaz. Bilgi verici olmayan önsel dağılım durumunda amaç verinin olabilirliği ile şekillenen bir sonsal dağılım elde etmektir. Bilgi verici olmayan önsel dağılım objektiftir ve örnek olarak tekdüze önsel dağılım verilebilir. Bilgilendirici önsel dağılım ise Bayesyen çıkarıma katkıda bulunur. Araştırmacı bilgilendirici önsel dağılım kullandığında amacı önsel dağılım ve verilerin olabilirliği ile şekillenmiş bir sonsal dağılım elde etmektir. Genel olarak bilgilendirici önsel daha önceden yapılan bilimsel çalışmalar ve uzman görüşüne dayanır. Önsel dağılımların toplamı bir olmalıdır ancak bu durum olabilirlik için geçerli değildir. Eğer önsel dağılım bilgi verici ise önsel dağılım belli bir aileye ait iken sonsal dağılım da aynı aileye ait ise buna eşlenik önsel dağılım adı verilir. Eşlenik önsel dağılımlar hesaplamalarda kolaylık sağladığı için tercih edilirler. Üstel dağılımın eşlenik önsel dağılımı Gama dağılımıdır, binom dağılımı için ise beta dağılımıdır.

Örnek: Miyokard enfarktüsü geçiren hastaların tedaviye cevabının değerlendirilmesi istenmiştir. Burada P hastaların tedaviye cevap verme olasılığıdır. Y ise n hasta sayısında tedaviye yanıt verenlerin sayısıdır. Bu problemde Y rastsal değişkeninin dağılımı Binom dağılımına uyar. Burada önsel bilgilere dayanarak bir P değeri atanır. P değerine göre Y değişkeninin koşullu olasılık fonksiyonu hesaplanır. P , 0 ile 1 arasında bir değer alabileceğinden önsel dağılım olarak Beta dağılımı alınır. Beta dağılımının parametreleri belirlenerek P 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu hesaplanır. Buradan elde edilen sonsal olasılık yoğunluk fonksiyonu ön veriler kullanılarak elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonudur (Genç 2010). Farklı gözlem değerleri için α ve β parametreleri değiştirilerek farklı sonsal dağılımlar elde edilebilir. Bayesyen yaklaşımda

araştırmacılar daha önce yapılan çalışmalar ve verilere dayanarak araştırılan parametre ile ilgili ön bilgiye sahip olabilir. Bu yaklaşımda önsel dağılımın yapılabilmesi için model parametrelerine hangi önsel dağılımın kullanılacağı bilinmelidir. Bayesyen yaklaşımın en zor kısımlarından birisi budur. Bu şekilde önsel dağılım yapılarak sonsal dağılım hakkında fikir sahibi olunur. Ancak tüm problemler bu şekilde çözülemeyebilir; parametre tahmini probleminin çözümü için başka bir yol daha vardır bu yola Markov Zinciri Monte Carlo (MZMC) simulasyonu adı verilir. MZMC simulasyonunun arkasında yatan ana fikir sonsal bir dağılım oluşturarak bu dağılımdan örnekler elde etmektir. Sonsal dağılımdan bir değer öne sürülerek verilerin sonsal yoğunluk dağılımı hesaplanır. Sonsal yoğunluk olabilirlik ve önsel yoğunluk ile orantılıdır. Bu şekilde çeşitli değerler öne sürülerek sonsal dağılımı yüksek olan değer seçilir. Eğer bulunan değer bir önceki değerden yüksek değilse mevcut öneri ile devam edilir. Bu süreç tekrarlanarak makul bir sonsal dağılım elde edilir. Buna Metropolis algoritması adı verilir. Metropolis algoritmasının bazı özel gereklilikleri mevcuttur. Önerilen parametrenin alındığı dağılımın simetrik olması gereklidir. Genel olarak önerilen parametre normal dağılımdan çekilir. Araştırmacının bu durumda normal dağılımın standart sapmasını da temin etmesi gereklidir. Standart sapmanın tayin edilmesi önemlidir çünkü ortalama olarak kabul oranının %20 ile 50 arasında olması istenir. MZMC analizinin sonuçlarını yorumlamak Bayesyen MZMC analizi için kritik bir adımdır. Metropolis algoritmasında yüksek kabul değerleri yeni örneklerin mevcut verilerin çok yakınında olduğunu ve Markov zincirinin yavaş hareket ettiğini gösterir. Düşük kabul değerleri ise önerilerin değerlerin zincirin yürümediğini ifade eder. Verimli bir Metropolis örnekleme çok yüksek veya çok düşük kabul oranına sahip değildir.

2.4.4. Bayes Faktörü

Bayesci yaklaşıma göre θ parametresi ile ilgili H_0 ve H_1 hipotezleri kurulduğunda bu parametreye ilişkin önsel ve sonsal olasılıklar hesaplanır. Bayesyen yaklaşımda eldeki veriler göz önüne alınarak H_0 ve H_1 hipotezlerinin sonsal olasılıkları birbirine oranlanarak hipotezler arasında karar verilir.

$$\frac{P(H_1|Veri)}{P(H_0|Veri)} > 1 \text{ ise } H_1 \text{ hipotezi seçilir.}$$

$$\frac{P(H_1|Veri)}{P(H_0|Veri)} < 1 \text{ ise } H_0 \text{ hipotezi seçilir.}$$

Burada frekantist yaklaşımdan farklı olan kısım Bayesyen yaklaşımda $P(Hipotez|Veri)$ kullanılırken, frekantist yaklaşımda aynı işlem $P(Veri|Hipotez)$ olasılığı kullanılarak verilir.

H_0 'ın sonsal olasılığı;

$$P(H_0|Veri) = \frac{P(Veri|H_0)P(H_0)}{P(Veri|H_0)P(H_0) + P(Veri|H_1)P(H_1)}$$

H_1 'in sonsal olasılığı;

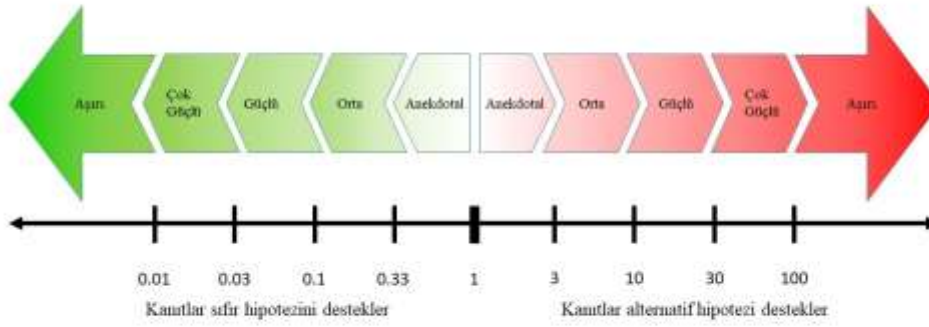
$$P(H_1|Veri) = \frac{P(Veri|H_1)P(H_1)}{P(Veri|H_0)P(H_0) + P(Veri|H_1)P(H_1)}$$

İki sonsal olasılığın birbirine oranlanması durumunda

$$\frac{P(Veri|H_1)}{P(Veri|H_0)}$$
 sonucu ortaya çıkar. Buna Bayes faktörü (BF) adı verilir. Bayes faktörü Bayesyen

yaklaşımın en önemli noktalarından biridir. H_0 veya H_1 hipotezlerinin seçiminde araştırmacıya yol göstericidir. Eğer BF 1'in üzerinde ise H_1 hipotezi kabul edilir, 1 ile 3 değerleri arasında ise alternatif hipotez lehine anektodal kanıt vardır, 3 ile 10 değerleri arasında alternatif hipotez için orta derecede kanıt olduğu düşünülür, 10 ile 30 değerleri arasında alternatif hipotez için güçlü

kanıt vardır, 30 ile 100 değerleri arasında alternatif hipotez için çok güçlü kanıt vardır. Bayes faktörü 1/3 ile 1 değerleri arasında ise H_0 hipotezi için anektodal kanıt olduğu düşünülür, 1/3 ile 1/10 değerleri arasında H_0 hipotezi için orta derecede kanıt vardır. 1/10 ile 1/30 değerleri arasında H_0 hipotezi için güçlü kanıt vardır, 1/30 ile 1/100 değerleri arasında ise H_0 hipotezi için çok güçlü kanıt olduğu söylenir. 1/100 üzeri değerler için ise H_0 hipotezi için aşırı kanıt vardır. Şekil 3'te Bayes faktörünün şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3: Bayes faktörünün şematik gösterimi.

Yapılan araştırmalarda BF önsel bilgiye karşı yüksek hassasiyet göstermesinden dolayı, önsel bilgiyi göz önüne almadığı durumlarda çok faydalı olmadığı ileri sürülmüştür (Linden, 2017). Gu ve ark. Bayesyen t-testi için oluşturulan BF'nün tip I ve tip II hata oranını araştırmış ve hata

olasılıklarının frekantist yaklaşımla elde edilenlere ortalama olarak eşit ve daha küçük bulmuşlardır (Gu, 2016).

2.4.5. Örneklem Büyüklüğü

Klinik çalışmaların pek çok çeşidi mevcuttur ve iyi bir klinik çalışma yürütmek için bazı şartları sağlamak gerekmektedir. İyi bir çalışma yapmanın ilk adımı problemi tanımlamaktır, bunun ardından deneysel veya gözlemsel birimleri ve uygun vaka ve kontrolleri belirlemek gelir. Ölçülecek birimleri etkileyecek olan çalışmaya dahil edilme ve dışlanma kriterleri özenle seçilmelidir. Çalışma tasarımı açık olmalı ve süreçler olası en iyi metodoloji ile uygulanmalıdır. Bu faktörler göz önüne alınarak çalışmanın yeterli bir örneklem büyüklüğüne sahip olması gereklidir. Bir çok çalışma bir örneklem üzerinde yürütülür. Örneklem üzerinde yapılan çalışmalar popülasyon çalışmalarına göre daha ekonomiktir ve daha az zaman alır ancak bu çalışmalarda örneklem büyüklüğünün seçimi önemli bir noktadır. Örneklem büyüklüğünün ne kadar olacağı araştırmacılar tarafından sıkça sorulan bir sorudur. Çoğu zaman araştırmacılar biraz keyfi olan 30 örneklem sayısından yola çıkarlar ancak bu durum pek çok çalışma için uygun değildir. Bilimsel bir araştırmada örneklem büyüklüğü çalışmanın erken dönemlerinde hesaplanır. Aynı metodolojiyi kullanan iki araştırmacı farklı örneklem büyüklüklerinde farklı sonuçlara ulaşabilir. Küçük örneklem büyüklükleri bir farkı tespit edemeyeceği gibi, büyük sayılar en ufak farklılığı tespit edebilecek güce ulaşabilir. Her iki durum da araştırmacılara pratik bir bilgi sağlamaz. Örneklem büyüklüğü çok küçük veya çok büyük olmamalıdır.

Bir çalışmanın gücü yanlış olan sıfır hipotezinin reddidir. Küçük örneklem sayıları büyük bir etkiyi tespit edebilir ancak küçük etkilerin tespit edilmesi mümkün değildir. Örnek olarak kan glukoz düzeylerini etkileyen bir ilacı test ettiğimizi düşünelim. Belirli bir güçte iki grup için 40 kişi

aldığımızı ve ilaç verilen grupta kan glukoz düzeylerinin düştüğünü farzedelim. Eğer 40 kişi yerine 15 kişi alırsak bu etkiyi görmeyeceğimiz için etkin olan bir ilacın kullanımı mümkün olmayacak ve maddi ve zaman kaybı ortaya çıkacaktır.

Buna karşın örneklem sayısının gereğinden fazla olması farklı problemlere yol açacaktır. Bu durumda en önemli sorunlardan biri etiktir. Örneğin gereğinden fazla hastanın bir çalışmaya dahil edilmesi yeni bir tedavi ya da ilaca bu insanların maruz bırakılmasına yol açacaktır. Bu durum yeni tedavi/ilacın mevcut olana göre daha kötü olması durumunda daha ciddi bir hal alır. İkinci konu ekonomik kaynakların kullanımıdır. Ayrıca büyük örneklem sayılarında istatistiksel testlerin gücü artacak ve sıfır hipotezinin reddi klinik olarak faydası olmayan küçük farklarda bile kolaylaşacaktır. Örneğin bir ilacın potansiyel etkisi mevcut olana göre daha iyi sonuç verse dahi bu sonuç pratik olmayabilir (Shuster, 1990; Altman 1991; Shusther, 2012).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Kardiyovasküler hastalıklar dünya çapında ölümlerin üçte birini oluşturmaktadır (Mozaffarian, 2016). Bu hastalıklar arasında iskemik kalp hastalığı (İKH) prevalansı en yüksektir (Roth, 2017). Ateroseklerotik kardiyovasküler hastalık olarak da bilinen İKH kendini daha çok miyokard enfarktüsü ve iskemik kardiyomiyopati olarak gösterir. Ölümcül olmayan İKH nedeni ile artan sayıda kişinin hayat kalitesinde düşüş ve kronik engelilik hali oluşmaktadır. İKH altında yatan primer patolojik olay ateroskleroz, çeşitli risk faktörlerine bağlı olarak lipid birikimi ve koroner arterlerin enflamatuvar hastalığı olarak tanımlanabilir. İKH oluşmasını hızlandıran, zemin hazırlayan risk faktörleri tanımlanmıştır, bunlar yaş, ailede erken yaşta kalp hastalığı bulunması, yüksek kan kolesterol seviyesi, yüksek kan basıncı, sigara kullanımı, diyabetes mellitus, metabolik sendrom, stres, depresyon olarak sıralanabilir. İKH olan kişilerin %70'inden fazlasında birden fazla risk faktörü bulunurken, genel populasyonun sadece %2 ile %7'sinde risk faktörü gözlenmemektedir (Sampasa-Kanyinga, 2015). İKH insidansının yaşlanan populasyon, artan risk faktörleri gibi nedenlerden dolayı yükselmesi beklenmektedir.

İskemik kalp hastalarının biyokimyasal bulgularını normal kişiler ile karşılaştıran pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda çeşitli sonuçlar ortaya çıkmıştır. Lökositler (WBC) ateroskleroz patogenezinde rol aldığından koroner ater hastalığı için bağımsız bir risk faktörü ve prognostik bir belirteçtir (Sweetnam et al., 1997). Artmış lökosit sayısının İKH bağlı ölüm riskini %65 oranında arttırdığı öne sürülmüştür (Weijenberg et al., 1996). Hiperlipidemi kardiyovasküler hastalık için güçlü ve değiştirilebilir bir risk faktörüdür. İskemik kalp hastalarında serum total kolesterol (TK), düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol (LDL-K) ve trigliserid (TG) seviyeleri normal popülasyona göre daha yüksek yüksek-yoğunluklu lipoprotein kolesterol (HDL-K) seviyeleri ise daha düşük saptanmıştır (Gupta et al., 2002). İskemik kalp hastalığında trombosit

(PLT) sayısını ve ortalama trombosit hacmini (MPV) araştıran çalışmalarda akut koroner sendromu olan hastalarda PLT sayısının azaldığını ve MPV'nin yüksek olduğunu göstermiştir. Ranjith et al., 2015). Ancak kronik koroner sendromlarda PLT sayısının farklı olmadığı gösterilmiştir (Puzilli et al., 1998). Hem yüksek hem de düşük hemoglobin (Hgb) konsantrasyonlarının kardiyovasküler hastalıklar ile ilişkili olduğu ve iskemik kalp hastalığında düşük Hgb düzeylerinin prognostik değeri olduğu saptanmıştır (Houghton et al., 2019).

Bu çalışmada, yukarıdaki veriler ışığında, kronik İKH olan 40 ile 50 yaş arasında erkeklerde biyokimyasal değerlerin küçük ve büyük örneklem büyüklüklerinde farklı olup olmadığı hem frekantist hem de Bayesyen yaklaşım ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın etik kurul onayı Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan alınmıştır.

Küçük örneklem için prospektif olarak İKH olan 32, olmayan 37 kişi çalışmaya dahil edilmiştir. Bu amaçla kardiyoloji polikliniğine 01.01.2022 ile 01.03.2022 tarihleri arasında başvuran hastalar çalışmaya alınmıştır. Büyük örneklem için retrospektif olarak hastane veri sistemi taranarak İKH olan 355, olmayan 545 kişi çalışmaya alınmıştır. Bu amaçla kardiyoloji polikliniğine 01.01.2020 ve 01.01.2021 tarihleri arasında başvuran hastaların hasta dosyaları taranmıştır. Kronik böbrek yetersizliği (glomerul filtrasyon hızı $<60 \text{ ml/dk/1.73m}^2$), karaciğer hastalığı, tiroid fonksiyon bozuklukları, malignite hikayesi olan hastalar çalışmaya dahil edilmemiştir. Küçük ve büyük örneklem frekantist ve Bayesyen yaklaşımla karşılaştırılmıştır. Bayesyen karşılaştırmalar esnasında bilgilendirici olan önsel, bilgilendirici olmayan önsel ve Jeffreys önseli kullanılmıştır. Araştırmada istatistiksel analiz bulgularının değerlendirilmesinde hata payı %5 olarak alınmıştır. Uygulamanın tamamı ise IBM SPSS 26 programı kullanılarak gerekleştirilmıştir.

4. SONUÇLAR

4.1.KÜÇÜK ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜ İLE İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Çalışmanın ilk bölümünde parametrelerin tanımlayıcı istatistikleri sunulmuştur. Tanımlayıcı istatistiklerden ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri birlikte verilmiştir. İKH olan ve olmayan hastaların tanımlayıcı istatistikleri Tablo 2’de verilmiştir.

İKH olan ve olmayan hastaların frekantist yaklaşımda yapılan analiz sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Her iki grubun normallik değerlendirmesi Kolmogorow-Smirnow testi ile yapılmıştır. Normal dağılım gösteren veriler ortalama ve standart sapma, normal dağılım göstermeyenler ise medyan ve interkuartil aralık (25-75) olarak verilmiştir. Normal dağılım gösteren verilerin karşılaştırılması Student’s t testi, göstermeyen verilerin karşılaştırması Mann-Whitney U testi ile yapılmıştır. Tablo 3’de grupların frekantist yaklaşım ile elde edilen sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 3: İKH olan ve olmayan hastların parametrelerinin frekantist yaklaşım ile sonuçları.

Değişken	İKH YOK	İKH VAR	Z/t skoru	p
Glukoz	102.20 (93.40-115.00)	117.50 (96.50-160.00)	-2.154	0.031
TG	169.75 (117.96-229.00)	141.00 (112.00- 303.00)	-1.294	0.196
TKOL	190.091±33.672	189.648±58.088	0.039	0.969
HDL	43.00 (41.80-47.80)	41.00 (36.32-51.50)	-1.071	0.284
LDL	99.10 (88.30-132.68)	111.00 (62.52-152.60)	-0.102	0.919
Üre	30.90 (26.05-34.275)	29.00 (26.25-36.00)	-0.614	0.539
Kreatinin	0.87 (0.825-0.940)	0.875 (0.765-0.98)	-0.175	0.861
Hemoglobin	15.45 (14.60-16.10)	14.95 (13.85-15.425)	-1.680	0.093
HCT	45.633±2.696	43.869±4.972	1.792	0.080
RDW	13.125 (12.90-13.50)	13.10 (12.606-13.50)	-0.458	0.647
WBC	7.985±1.701	8.517±2.276	-1.108	0.272
PLT	196.00 (20.895-287.00)	244.00 (166.27-289.25)	-0.963	0.336
MPV	10.081(9.90-10.30)	10.05 (9.225-10.425)	-0.441	0.659
NÖT	4.885 (4.205-4.885)	5.415 (3.89-6.21)	-1.280	0.200
LYM	3.180 (1.180-4.02)	2.82 (0.77-4.67)	-1.280	0.200

Tablo 4 ve 5’de araştırmaya katılan bireyler açısından araştırma kapsamında kullanılan değişkenlerin İKH olma durumlarına göre önsel bilgi olmadan yapılan Bayes t-testi sonuçları gösterilmektedir

Tablo 4: Önsel bilgi olmadan elde edilen Bayes t-testi sonuçları

Değişken	OF	PSD	Bayes faktör	t	df	p
Glukoz	22.834	13.184	0.882	1.732	67	0.088
TG	-13.666	29.743	0.271	-0.459	67	0.647
TKOL	-0.442	11.247	0.248	-0.039	67	0.969
HDL	-0.465	2.475	0.252	-0.188	67	0.852
LDL	3.418	10.186	0.260	0.336	67	0.738
Üre	4.055	2.958	0.551	1.371	67	0.175
Kreatinin	0.032	0.142	0.254	0.227	67	0.821
Hemoglobin	-0.447	0.405	0.417	-1.104	67	0.273
HCT	-1.764	0.946	1.078	-1.866	67	0.066
RDW	-0.268	0.388	0.304	-0.690	67	0.493
WBC	0.532	0.480	0.418	1.108	67	0.272
PLT	32.793	26.998	0.465	1.215	67	0.229
MPV	-0.236	0.198	0.454	-1.192	67	0.237
NÖT	0.349	0.343	0.386	1.018	67	0.313
LYM	-0.256	0.235	0.411	-1.089	67	0.280

OF: Ortalama fark, PSD: Havuzlanmış standart hata fark

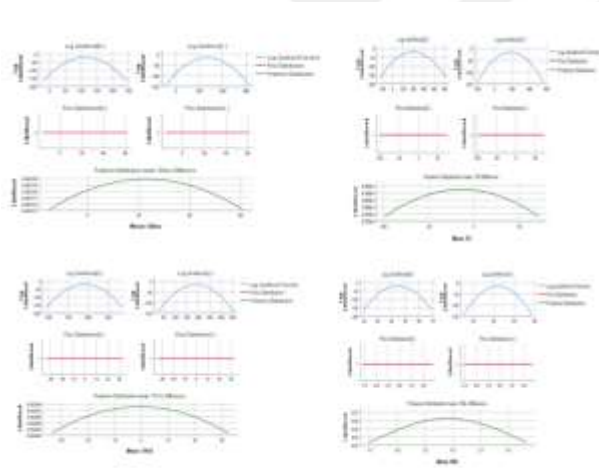
Tablo 5: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından sonsal dağılım istatistikleri

Değişken	Posterior			%95 CI	
	Mod	Ort	Varyans	Alt sınır	Üst sınır
Glukoz	22.834	22.834	181.409	-3.564	49.233
TG	-13.666	-13.666	908.263	-72.734	45.402
TKOL	-0.442	-0.442	136.087	-23.306	22.422
HDL	-0.465	-0.465	6.395	-5.421	4.492
LDL	3.418	3.418	112.577	-17.378	24.214
Üre	4.055	4.055	9.790	-2.078	10.187
Kreatinin	0.032	0.032	0.020	-0.246	0.311
Hemoglobin	-0.447	-0.447	0.168	-1.250	0.355
HCT	-1.764	-1.764	0.969	-3.694	0.165
RDW	-0.268	-0.268	0.155	-1.039	0.503
WBC	0.532	0.532	0.240	-0.429	1.492
PLT	32.793	32.793	713.911	-19.576	85.161
MPV	-0.236	-0.236	0.039	-0.621	0.149
NÖT	0.349	0.349	0.122	-0.337	1.034
LYM	-0.256	-0.256	0.061	-0.742	0.230

Ort: Ortalama, CI: Güven aralığı

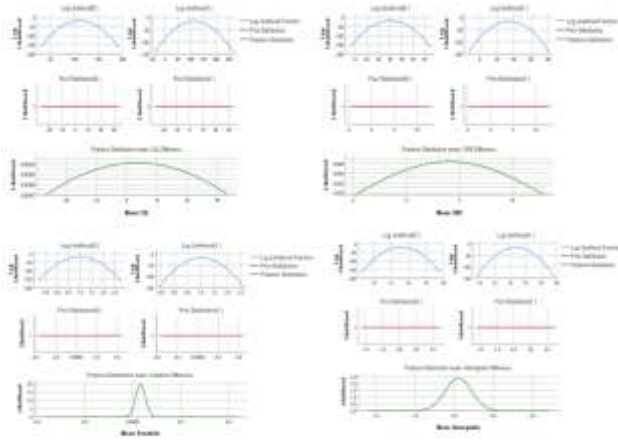
Önsel bilgi olmadan elde edilen Bayes t-testi sonuçları incelendiğinde, bireyler açısından araştırma kapsamında kullanılan değişkenlerin iskemik kalp ve koroner arter hastalıkları olma durumlarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir ($p>0.05$). Bireylerin tüm parametrelerinde Bayes t-testi sonucunda elde edilen Bayes faktör değerlerinin 0 ile 1 arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler her iki grup arasında parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığını göstermektedir. Bu bulgularla birlikte güven aralığı sınırları değerlendirildiğinde, bu aralıkların 0 değerini kapsadığı saptanmıştır. T-testi, Bayes faktör değeri ve güven aralığı sınırları, boş hipotezi (H_0) desteklemektedir.

Şekil 4’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen glukoz, TG, TKOL ve HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



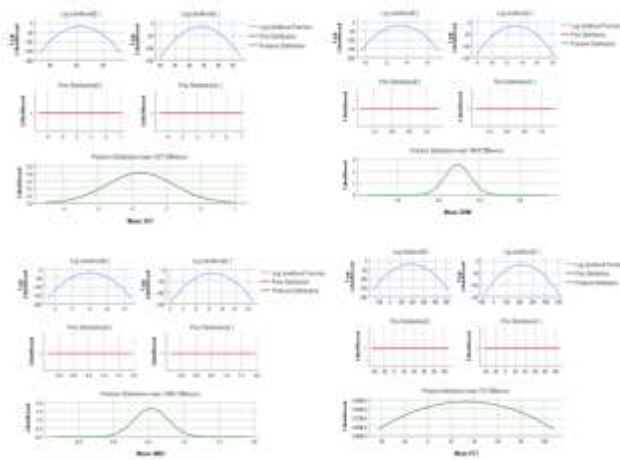
Şekil 4: Glukoz, TG, TKOL ve HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 5’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen LDL, üre, kreatinin ve hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



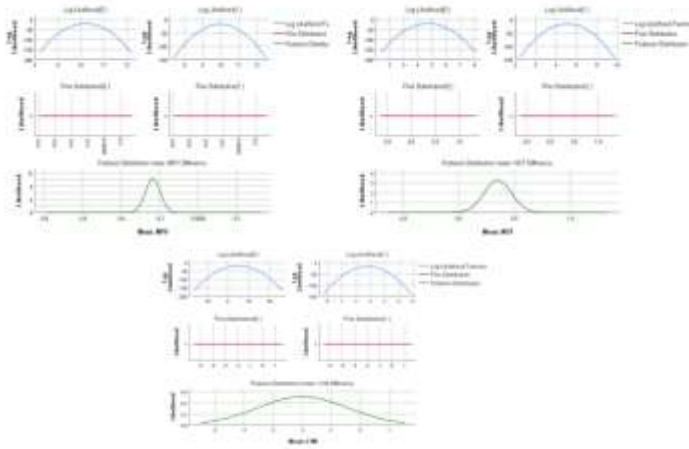
Şekil 5: LDL, üre, kreatinin ve hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 6'da araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen HCT, RDW, WBC, Plt değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 6: HCT, RDW, WBC, Plt değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 7’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 7: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Tablo 6 ve 7’de araştırmaya katılan bireyler açısından araştırma kapsamında kullanılan değişkenlerin İKH olma durumlarına göre bilgilendirici olan önsel dağılım ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçları gösterilmektedir. Bilgilendirici olan önsel dağılımdan elde edilen Bayes t-testi sonuçları incelendiğinde, bireyler açısından araştırma kapsamında kullanılan değişkenlerin iskemik kalp ve koroner arter hastalıkları olma durumlarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir ($p > 0.05$). Bayes faktör değerlerinin bilgilendirici olmayan önsel dağılım ile benzer şekilde olduğu görülmektedir. Güven aralıkları incelendiğinde, önsel bilgi olmadan yapılan Bayes t-testi sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bireylerin glukoz, TG, üre, kreatinin, hemoglobin, RDW, WBC, PLT, NÖT ve LYM değerleri açısından bilgilendirici önsel dağılım ışığında bulunan güven aralığı alt sınır değerlerinin bilgilendirici olmayan önsel dağılım ışığında bulunan değerlere göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bireylerin TKOL, HDL, LDL, HCT ve MPV değerleri açısından bilgilendirici önsel dağılım ışığında bulunan güven aralığı alt sınır değerlerinin bilgilendirici olmayan önsel dağılım ışığında bulunan değerlere göre düşük olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan güven aralığı üst sınır değerleri incelendiğinde,

bireylerin kreatinin, RDW, WBC, NÖT ve LYM değerleri için üst sınır değerlerinin arttığı, glukoz, TG, TKOL, HDL, LDL, üre, hemoglobin, HCT, PLT ve MPV değerleri için üst sınır değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 6: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından bilgilendirici olan önsel dağılımdan elde edilen Bayes t-testi sonuçları.

Değişken	OF	PSD	Bayes faktör	t	df	p
Glukoz	22.834	13.184	0.882	1.732	67	0.088
TG	-13.666	29.743	0.271	-0.459	67	0.647
TKOL	-0.442	11.247	0.248	-0.039	67	0.969
HDL	-0.465	2.475	0.252	-0.188	67	0.852
LDL	3.418	10.186	0.260	0.336	67	0.738
Üre	4.055	2.958	0.551	1.371	67	0.175
Kreatinin	0.032	0.142	0.254	0.227	67	0.821
Hemoglobin	-0.447	0.405	0.417	-1.104	67	0.273
HCT	-1.764	0.946	1.078	-1.866	67	0.066
RDW	-0.268	0.388	0.304	-0.690	67	0.493
WBC	0.532	0.480	0.418	1.108	67	0.272
PLT	32.793	26.998	0.465	1.215	67	0.229
MPV	-0.236	0.198	0.454	-1.192	67	0.237
NÖT	0.349	0.343	0.386	1.018	67	0.313
LYM	-2.256	0.235	0.411	-1.089	67	0.280

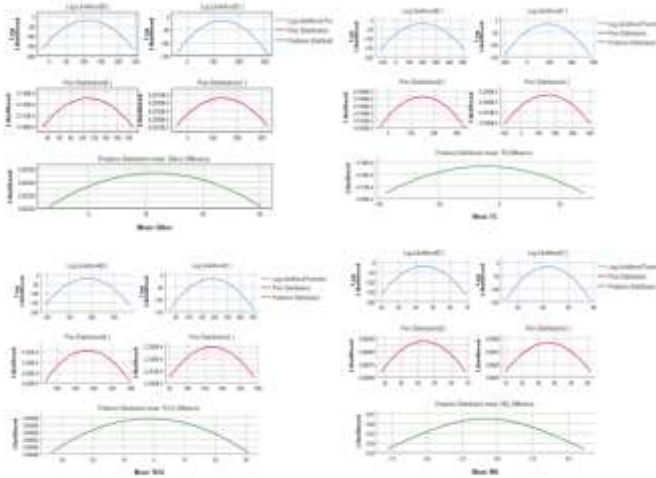
OF: Ortalama fark, PSD: Havuzlanmış standart hata fark.

Tablo 7: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından sonsal dağılım istatistikleri.

Değişken	Posterior			%95 CI	
	Mod	Ort	Varyans	Alt sınır	Üst sınır
Glukoz	23.124	23.124	173.918	-2.723	48.972
TG	-12.226	-12.226	844.040	-69.167	44.716
TKOL	-1.427	-1.427	129.644	-23.743	20.890
HDL	-0.836	-0.836	6.130	-5.689	4.017
LDL	2.609	2.609	105.487	-17.521	22.739
Üre	3.992	3.992	9.129	-1.930	9.914
Kreatinin	0.095	0.095	0.016	-0.152	0.341
Hemoglobin	-0.447	-0.447	0.162	-1.235	0.342
HCT	-1.819	-1.819	0.941	-3.721	0.082
RDW	-0.224	-0.224	0.150	-0.983	0.535
WBC	0.541	0.541	0.236	-0.411	1.494
PLT	31.130	31.130	650.090	-18.843	81.102
MPV	-0.240	-0.240	0.038	-0.623	0.143
NÖT	0.367	0.367	0.121	-0.314	1.047
LYM	-0.256	-0.256	1.347	-2.530	2.018

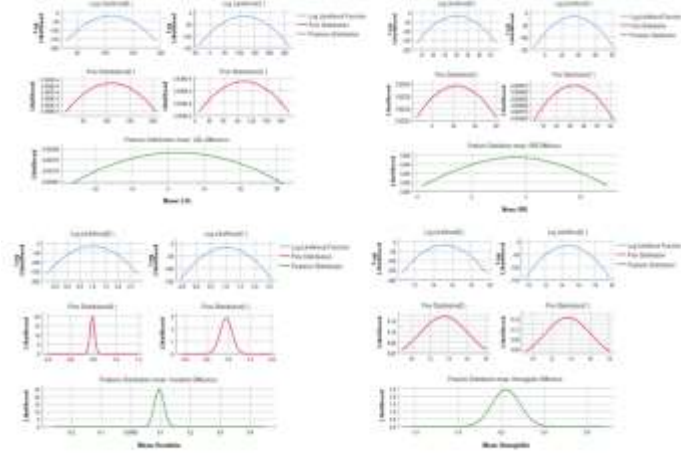
Ort: Ortalama, CI: Güven aralığı.

Şekil 8’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



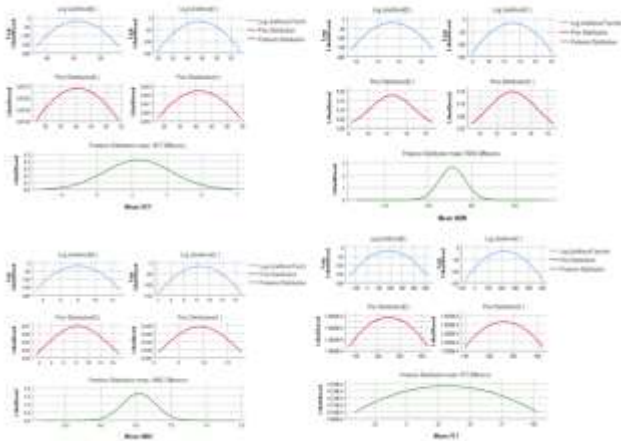
Şekil 8: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 9’da araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



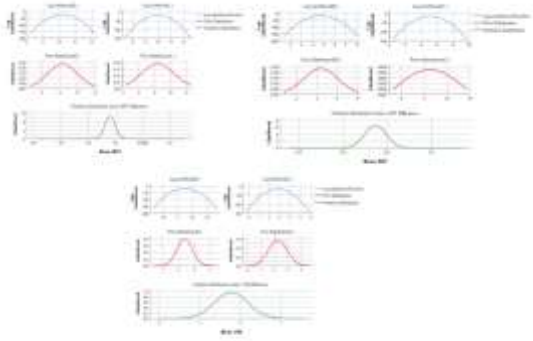
Şekil 9: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 10’da araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 10: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 11’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 11: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Tablo 8 ve 9’da araştırmaya katılan bireylerin açısından araştırma kapsamında kullanılan değişkenlerin İKH olma durumuna göre Jeffreys önseli ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçları gösterilmektedir. Jeffreys önseli ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçları incelendiğinde, bireyler açısından araştırma kapsamında kullanılan değişkenlerin iskemik kalp ve koroner arter hastalıkları olma durumlarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir ($p>0.05$). Bireylerin Bayes faktör değerlerinde fark gözlenmemiş ve güven aralıkları incelendiğinde, bilgilendirici olan ve olmayan önsel dağılım ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bireylerin glukoz, TKOL, HDL, LDL, üre, HCT ve NÖT değerleri açısından Jeffreys önseli ışığında bulunan güven aralığı alt sınır değerlerinin bilgilendirici olan önsel dağılım ışığında bulunan değerlere göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bireylerin TG, kreatinin, hemoglobin, RDW, WBC, PLT, MPV ve LYM değerleri açısından Jeffreys önseli ışığında bulunan güven aralığı alt sınır değerlerinin bilgilendirici olan önsel dağılım ışığında bulunan değerlere göre düşük olduğu saptanmıştır. Diğer taraftan güven aralığı üst sınır değerleri

incelendiğinde, bireylerin TG, kreatinin, hemoglobin, RDW, WBC, PLT, MPV ve LYM değerleri için üst sınır değerlerinin arttığı, glukoz, TKOL, HDL, LDL, üre, HCT ve NÖT değerleri için üst sınır değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 8: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından Jeffreys önseli ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçları

Değişken	OF	PSD	Bayes faktör	t	df	p
Glukoz	22.834	13.184	0.882	1.732	67	0.088
TG	-13.666	29.743	0.271	-0.459	67	0.647
TKOL	-0.442	11.247	0.248	-0.039	67	0.969
HDL	-0.465	2.475	0.252	-0.188	67	0.852
LDL	3.418	10.186	0.260	0.336	67	0.738
Üre	4.055	2.958	0.551	1.371	67	0.175
Kreatinin	0.032	0.142	0.254	0.227	67	0.821
Hemoglobin	-0.447	0.405	0.417	-1.104	67	0.273
HCT	-1.764	0.946	1.078	-1.866	67	0.066
RDW	-0.268	0.388	0.304	-0.690	67	0.493
WBC	0.532	0.480	0.418	1.108	67	0.272
PLT	32.793	26.998	0.465	1.215	67	0.229
MPV	-0.236	0.198	0.454	-1.192	67	0.237
NÖT	0.349	0.343	0.386	1.018	67	0.313
LYM	-0.256	0.235	0.411	-1.089	67	0.280

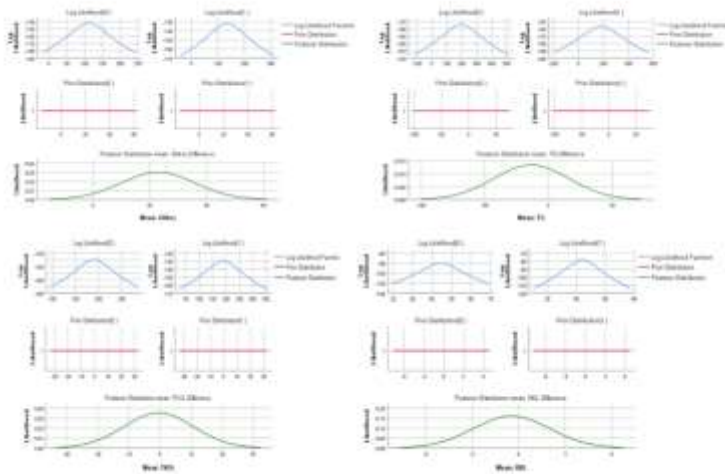
OF: Ortalama fark, PSD: Havuzlanmış standart hata fark

Tablo 9: Araştırma kapsamında kullanılan değişkenler açısından sonsal dağılım istatistikleri

Değişken	Posterior			%95 CI	
	Mod	Ort	Varyans	Alt sınır	Üst sınır
Glukoz	22.834	22.834	179.156	-3.481	49.149
TG	-13.666	-13.666	911.851	-73.033	45.701
TKOL	-0.442	-0.442	130.377	-22.890	22.006
HDL	-0.465	-0.465	6.314	-5.405	4.475
LDL	3.418	3.418	106.949	-16.913	23.750
Üre	4.055	4.055	9.021	-1.850	9.959
Kreatinin	0.032	0.032	0.021	-0.251	0.316
Hemoglobin	-0.447	-0.447	0.169	-1.256	0.361
HCT	-1.764	-1.764	0.922	-3.651	0.123
RDW	-0.268	-0.268	0.155	-1.043	0.507
WBC	22.559	22.559	430.017	-18.209	63.328
PLT	32.793	32.793	751.307	-21.095	86.680
MPV	-0.236	-0.236	0.040	-0.631	0.159
NÖT	0.349	0.349	0.121	-0.335	1.032
LYM	-0.256	-0.256	0.057	-0.726	0.213

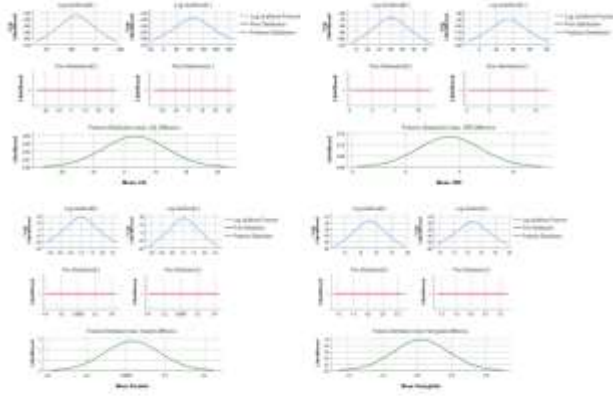
Ort: Ortalama, CI: Güven aralığı

Şekil 12’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



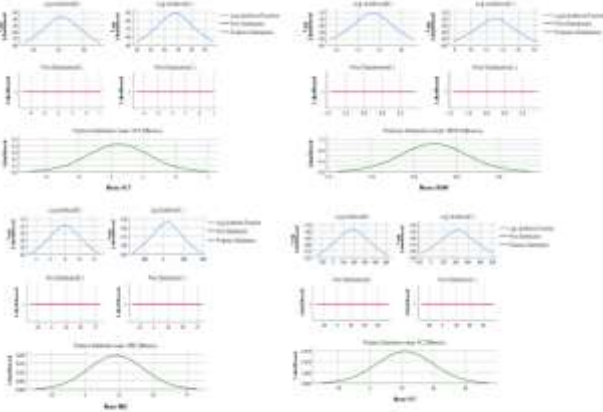
Şekil 12: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 13’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



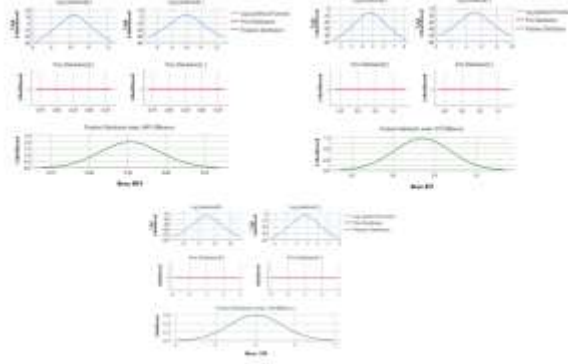
Şekil 13: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 14’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen HCT, RDW, WBC, Plt değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 14: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 15’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 15: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

4.2.BÜYÜK ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜ İLE İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Büyük örneklem büyüklüğünü oluşturan İKH olan ve olmayan hastaların parametrelerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından grup istatistikleri.

Değişken	İKH	N	Ort	SS	SH	EB
Glukoz	Yok	545	112.579	40.734	1.745	0.421
	Var	355	135.236	66.018	3.504	
TG	Yok	545	191.002	158.060	6.771	0.205
	Var	355	222.818	151.386	8.035	
TKOL	Yok	545	200.872	57.299	2.469	0.351
	Var	355	181.782	51.171	2.716	
HDL	Yok	545	42.909	9.237	0.396	0.386
	Var	355	39.492	8.420	0.447	
LDL	Yok	545	122.264	36.187	1.550	0.541
	Var	355	101.033	42.068	2.233	
Üre	Yok	545	29.925	8.841	0.379	0.167
	Var	355	31.695	12.023	0.638	
Kreatinin	Yok	545	0.866	0.246	0.011	0.176
	Var	355	0.986	0.931	0.049	
Hemoglobin	Yok	545	15.003	1.439	0.062	0.202
	Var	355	14.688	1.659	0.088	
HCT	Yok	545	44.319	3.576	0.153	0.209
	Var	355	43.466	4.516	0.264	
RDW	Yok	545	13.282	1.528	0.065	0.026
	Var	355	13.322	1.465	0.085	
WBC	Yok	545	8.155	2.109	0.091	0.391
	Var	355	9.070	2.544	0.135	
PLT	Yok	545	248.273	72.705	3.114	0.080
	Var	355	254.302	78.057	4.157	
MPV	Yok	545	10.082	1.177	0.050	0.072
	Var	355	10.178	1.536	0.847	
NÖT	Yok	545	4.843	1.587	0.068	0.350
	Var	355	5.483	2.038	0.108	
LYM	Yok	545	2.521	0.780	0.099	0.147
	Var	355	2.640	0.829	0.044	

Ort: Ortalama, SS: Standart sapma, SH: Standart hata, EB: Etki büyüklüğü.

Tablo 11’de frekantist yaklaşım ile Grup 2 parametrelerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 11: Grup 2 parametrelerinin karşılaştırılması.

Değişken	İKH YOK	İKH VAR	t skoru	p
Glukoz	100.75 (92.00-117.00)	111.75 (95.00-146.00)	-5.788	<0.001
TG	155.25 (115.00-219.50)	185.00 (126.00-276.50)	-3.028	0.003
TKOL	192.00 (172.50-220.125)	178.00 (146.50-207.50)	5.092	<0.001
HDL	42.00 (37.00-47.50)	38.00 (34.00-44.00)	5.614	<0.001
LDL	118.00 (99.00-141.50)	98.00 (72.81-122.75)	7.811	<0.001
Üre	29.00 (25.00-34.00)	30.00 (25.00-35.00)	-2.385	0.017
Kreatinin	0.84 (0.76-0.94)	0.85 (0.76-0.95)	-2.387	0.017
Hemoglobin	15.20 (14.40-15.90)	14.80 (13.90-15.80)	2.927	0.004
HCT	44.70 (42.25-47.00)	43.95 (41.00-46.47)	2.998	0.003
RDW	13.10 (12.60-13.50)	13.00 (12.60-13.70)	-0.389	0.698
WBC	7.92 (6.69-9.40)	8.75 (7.37-10.39)	-5.634	<0.001
PLT	248.00 (212.50-290.00)	245.50 (209.25-290.50)	-1.181	0.238
MPV	10.10 (9.40-10.70)	10.10 (9.50-10.80)	-1.065	0.287
NÖT	4.74 (3.69-5.75)	5.20 (4.17-6.36)	-5.005	<0.001
LYM	2.50 (1.96-3.03)	2.50 (2.09-3.04)	-2.186	0.029

Tablo 12’de bilgilendirici olmayan önsel dağılım ışığında yapılan Bayes t-testi bulguları gösterilmiştir. Tablo 13’de ise sonsal dağılım açısından hesaplanan, mod, ortalama, varyans ve %95 düzeyinde güven aralığı sınırları verilmiştir.

Tablo 12: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından önsel bilgi olmadan elde edilen Bayes t-testi sonuçları.

Değişken	OF	PSD	Bayes faktör	t	df	p
Glukoz	22.657	3.559	2.311e+7	6.366	898	<0.001
TG	31.815	10.603	6.256	3.001	898	0.003
TKOL	-19.091	3.749	22351.910	-5.092	898	<0.001
HDL	-3.417	0.609	321857.523	-5.614	898	<0.001
LDL	-21.231	2.634	2.105e+12	-8.062	898	<0.001
Üre	1.769	0.697	1.801	2.540	898	0.011
Kreatinin	0.121	0.042	4.355	2.874	898	0.004
Hemoglobin	-0.315	0.104	6.540	-3.016	898	0.003
HCT	-0.853	0.271	9.689	-3.147	898	0.002
RDW	0.040	0.103	0.082	0.389	898	0.698
WBC	0.915	0.156	1.228e+6	5.859	898	<0.001
PLT	6.029	5.106	0.151	1.181	898	0.238
MPV	0.097	0.091	0.133	1.065	898	0.287
NÖT	0.639	0.121	54301.389	5.271	898	<0.001
LYM	0.119	0.055	0.795	2.186	898	0.029

OF: Ortalama fark, PSD: Havuzlanmış standart hata fark.

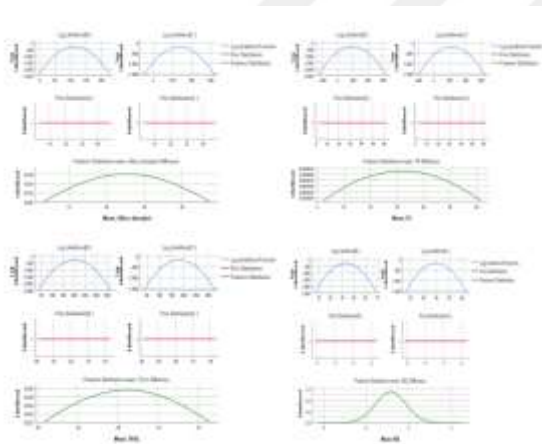
Tablo 13: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından sonsal dağılım istatistikleri.

Değişken	Posterior			%95 CI	
	Mod	Ort	Varyans	Alt sınır	Üst sınır
Glukoz	22.657	22.657	15.402	14.962	30.352
TG	31.815	31.815	110.933	11.167	52.464
TKOL	-19.091	-19.091	13.464	-26.284	-11.897
HDL	-3.417	-3.417	0.358	-4.590	-2.243
LDL	-21.231	-21.231	7.425	-26.573	-15.88
Üre	1.769	1.769	0.553	0.311	3.228
Kreatinin	0.121	0.121	0.003	0.022	0.220
Hemoglobin	-0.315	-0.315	0.012	-0.526	-0.104
HCT	-0.853	-0.853	0.081	-1.412	-0.294
RDW	0.040	0.040	0.010	-0.160	0.240
WBC	0.915	0.915	0.027	0.596	1.235
PLT	6.023	6.023	26.996	-4.158	16.215
MPV	0.097	0.097	0.009	-0.092	2.285
NÖT	0.639	0.639	0.016	0.388	0.891
LYM	-0.119	-0.119	0.03	-0.011	0.228

Ort: Ortalama, CI: Güven aralığı.

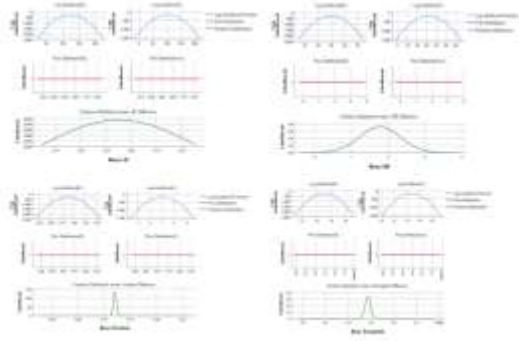
Önsel bilgi olmadan elde edilen Bayes t-testi sonuçları incelendiğinde, bireylerin glukoz, TG, TKOL, HDL, LDL, üre, kreatinin, HCT, WBC, NÖT ve LYM düzeyleri açısından yapılan Bayes t-testi sonucunda elde edilen Bayes faktör değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu değerler istatistiksel olarak anlamlı bulunan farklılıkların aşırı düzeyde desteklendiğini göstermektedir. Bu bulgularla birlikte güven aralığı sınırları değerlendirildiğinde, bu aralıkların 0 değerini kapsamadığı saptanmıştır. T-testi, Bayes faktör değeri ve güven aralığı sınırları, alternatif hipotezi (H1) desteklemektedir. Diğer taraftan bireylerin RDW, PLT, MPV düzeyleri açısından yapılan Bayes t-testi sonucunda elde edilen Bayes faktör değerlerinin 0 ile 1 arasında değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu değerler ise sıfır hipotezini desteklemektedir.

Şekil 16’da araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



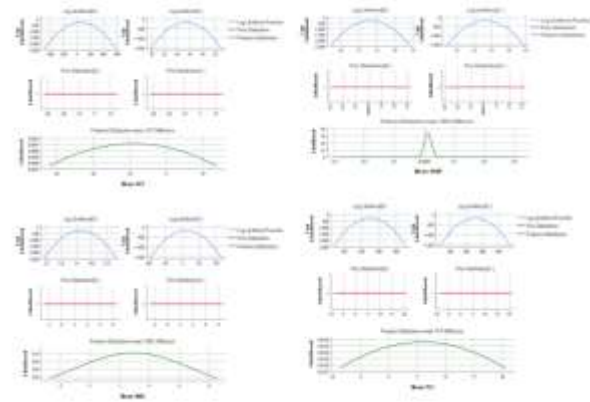
Şekil 16: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.

Şekil 17’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



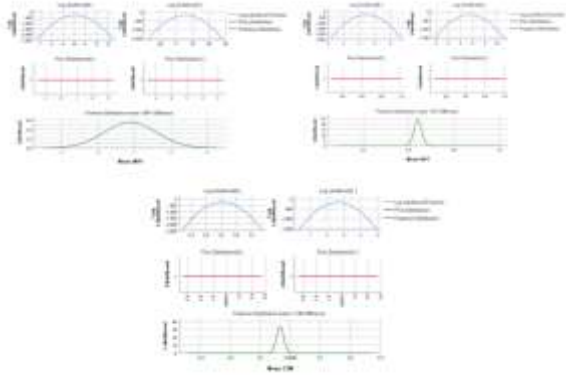
Şekil 17: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 18’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 18: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 19’da araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 19: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olmayan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Tablo 14 ve 15’de araştırmaya katılan bireylerin araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorlarının İKH olma durumlarına göre bilgilendirici olan önsel dağılım ışığında Bayes t-testi sonuçları gösterilmektedir. Bilgilendirici olan önsel dağılımdan elde edilen Bayes t-testi sonuçları incelendiğinde, bireylerin bayes faktörlerinin bilgilendirici olmayan önsel dağılım ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Güven aralıkları incelendiğinde, önsel bilgi olmadan yapılan Bayes t-testi sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bireylerin glukoz, LDL, üre, NÖT ve kreatinin değerleri açısından bilgilendirici önsel dağılım ışığında bulunan güven aralığı alt sınır değerlerinin bilgilendirici olmayan önsel dağılım ışığında bulunan değerlere göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bireylerin TG, TKOL, HDL ve hemoglobin değerleri açısından bilgilendirici önsel dağılım ışığında bulunan güven aralığı alt sınır değerlerinin bilgilendirici olmayan önsel dağılım ışığında bulunan değerlere göre düşük olduğu saptanmıştır. Diğer taraftan güven aralığı üst sınır değerleri incelendiğinde, bireylerin glukoz, LDL ve üre değerleri için üst sınır değerlerinin arttığı, TGL, TKOL, HDL, kreatinin ve hemoglobin değerleri için üst sınır değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 14: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından bilgilendirici olan önsel dağılımdan elde edilen Bayes t-testi sonuçları.

Değişken	OF	PSD	Bayes faktör	t	df	p
Glukoz	22.657	3.559	2.311e+7	6.366	898	<0.001
TG	31.815	10.603	6.256	3.001	898	0.003
TKOL	-19.091	3.750	22351.910	-5.092	898	<0.001
HDL	-3.417	0.609	321857.523	-5.614	898	<0.001
LDL	-21.231	2.634	2.105e+12	-8.062	898	<0.001
Üre	1.769	0.697	1.801	2.540	898	0.011
Kreatinin	0.121	0.042	4.355	2.874	898	0.004
Hemoglobin	-0.315	0.104	6.540	-3.016	898	0.003
HCT	-0.853	0.271	9.689	-3.147	898	0.002
RDW	0.040	0.103	0.082	0.389	898	0.698
WBC	0.915	1.156	1.228e+6	5.859	898	<0.001
PLT	6.029	5.106	0.151	1.181	898	0.238
MPV	0.097	0.091	0.133	1.065	898	0.287
NÖT	0.639	0.121	54301.389	5.271	898	<0.001
LYM	0.119	0.055	0.795	2.186	898	0.029

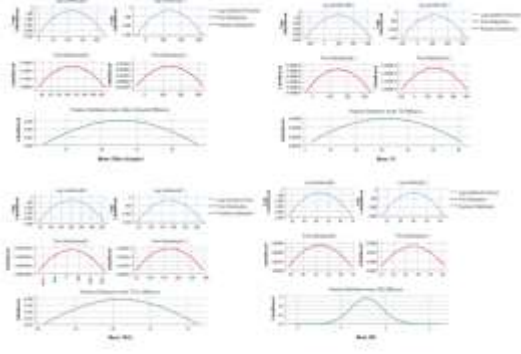
OF: Ortalama fark, PSD: Havuzlanmış standart hata fark.

Tablo 15: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından sonsal dağılım istatistikleri.

Değişken	Posterior			%95 CI	
	Mod	Ort	Varyans	Alt sınır	Üst sınır
Glukoz	22.657	22.657	13.569	15.437	29.877
TG	31.815	31.815	29.363	21.195	42.436
TKOL	-19.091	-19.091	8.038	-24.647	-13.534
HDL	-3.417	-3.417	0.384	-4.632	-2.202
LDL	-21.231	-21.231	5.339	-25.760	-16.702
Üre	1.770	1.770	0.625	0.221	3.318
Kreatinin	0.121	0.121	0.000	0.080	0.162
Hemoglobin	-0.315	-0.315	0.011	-0.525	-0.105
HCT	-0.853	-0.853	0.103	-1.482	-0.223
RDW	0.040	0.040	0.012	-0.177	0.260
WBC	0.915	0.915	0.133	0.201	1.630
PLT	6.029	6.029	16.596	-1.956	14.013
MPV	0.097	0.097	0.009	-0.090	0.283
NÖT	0.640	0.640	0.027	0.319	0.960
LYM	0.119	0.119	0.003	0.013	0.225

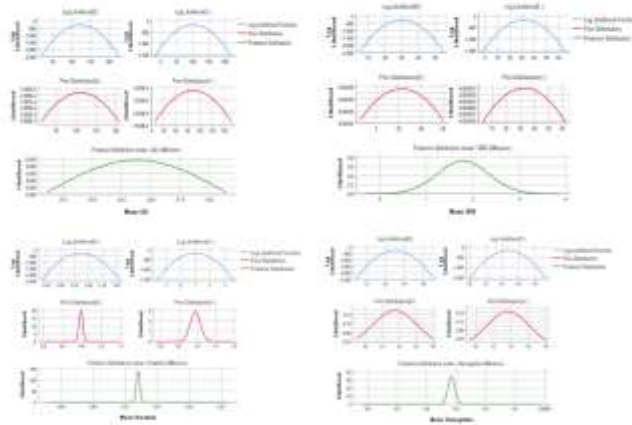
Ort: Ortalama, CI: Güven aralığı.

Şekil 20’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



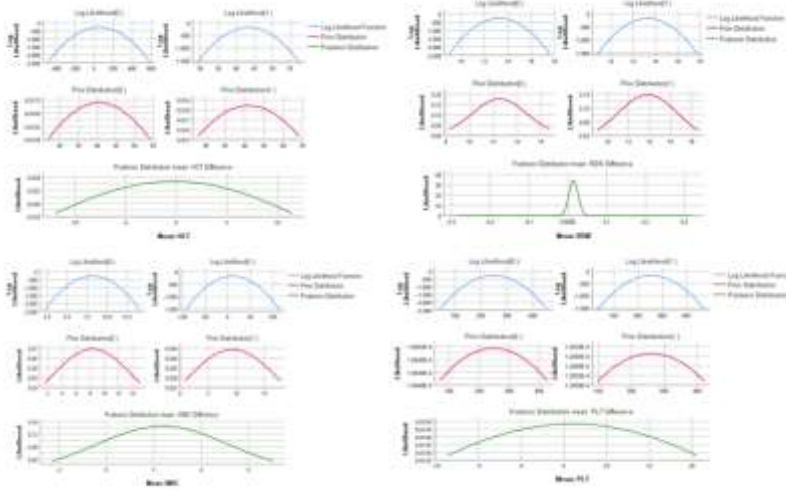
Şekil 20: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 21’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



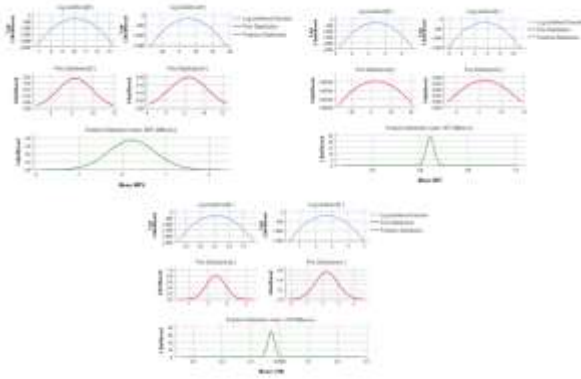
Şekil 21: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 22’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 22: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 23’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen MPV, NÖT, LYMP değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 23: MPV, NÖT, LYMP değerlerinin dağılımı, bilgilendirici olan önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Tablo 16 ve 17’de araştırmaya katılan bireylerin araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorlarının İKH olma durumlarına göre Jeffreys önseli ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçları gösterilmektedir. Önsel bilgi olmadan elde edilen Bayes t-testi sonuçları incelendiğinde, bireylerin glukoz, TG, TKOL, HDL, LDL, üre, kreatinin, HCT, WBC, NÖT ve LYM düzeyleri açısından yapılan Bayes t-testi sonucunda elde edilen Bayes faktör değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu değerler istatistiksel olarak anlamlı bulunan farklılıkların aşırı düzeyde desteklendiğini göstermektedir. Güven aralıkları incelendiğinde, bilgilendirici olan ve olmayan önsel dağılım ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bireylerin glukoz, LDL, üre, kreatinin, hemoglobin ve NÖT değerleri açısından Jeffreys önseli ışığında bulunan güven aralığı alt sınır değerlerinin bilgilendirici olan ve olmayan önsel dağılım ışığında bulunan değerlere göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bireylerin TG, TKOL ve HDL değerleri açısından Jeffreys önseli ışığında bulunan güven aralığı alt sınır değerlerinin bilgilendirici olan ve olmayan önsel dağılım ışığında bulunan değerlere göre düşük olduğu saptanmıştır. Diğer taraftan güven aralığı üst sınır değerleri incelendiğinde, bireylerin TG, TKOL ve HDL değerleri için üst sınır değerlerinin arttığı, glukoz, LDL, üre, kreatinin, hemoglobin ve NÖT değerleri için üst sınır değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 16: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından Jeffreys önseli ışığında yapılan Bayes t-testi sonuçları.

Değişken	OF	PSD	Bayes faktör	t	df	p
Glukoz	22.657	3.559	2.311e+7	6.366	898	<0.001
TG	31.815	10.603	6.256	3.001	898	0.003
TKOL	-19.091	3.749	22351.910	-5.02	898	<0.001
HDL	-3.412	0.609	321857.523	-5.614	898	<0.001
LDL	-21.231	2.634	2.105e+12	-8.062	898	<0.001
Üre	1.769	0.697	1.801	2.540	898	0.011
Kreatinin	0.121	0.042	4.355	2.874	898	0.004
Hemoglobin	-0.315	0.104	6.540	-3.016	898	0.003
HCT	-0.853	0.271	9.689	--3.147	898	0.002
RDW	0.040	0.103	0.082	0.389	898	0.698
WBC	0.915	0.156	1.228e+6	5.859	898	0.000
PLT	6.029	5.106	0.151	1.181	898	0.238
MPV	0.097	0.091	0.133	1.065	898	0.287
NÖT	0.639	0.121	54301.389	5.271	898	<0.001
LYM	0.119	0.055	0.795	2.186	898	0.029

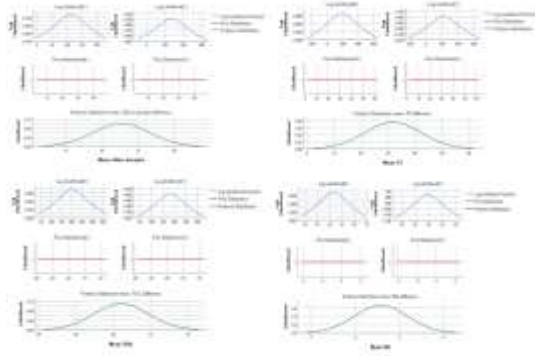
OF: Ortalama fark, PSD: Havuzlanmış standart hata fark.

Tablo 17: Araştırma kapsamında kullanılan sayısal ölçüm skorları açısından sonsal dağılım istatistikleri.

Değişken	Posterior			%95 CI	
	Mod	Ort	Varyans	Alt sınır	Üst sınır
Glukoz	22.657	22.657	12.696	15.672	29.642
TG	31.815	31.815	112.679	11.006	52.625
TKOL	-19.091	-19.091	14.085	-26.448	-11.733
HDL	-3.417	-3.417	0.371	-4.611	-2.222
LDL	-21.231	-21.231	6.951	-26.400	-16.063
Üre	1.769	1.769	0.486	0.402	3.137
Kreatinin	0.121	0.121	0.002	0.038	0.203
Hemoglobin	-0.315	-0.315	0.011	-0.519	-0.110
HCT	-0.853	-0.853	0.074	-1.384	-0.321
RDW	0.040	0.040	0.011	-0.161	0.241
WBC	0.915	0.915	0.024	-0.249	6.051
PLT	5.942	5.942	26.203	0.609	1.222
MPV	0.097	0.097	0.008	-0.081	0.275
NÖT	0.639	0.639	0.015	0.401	0.877
LYM	0.119	0.119	0.003	0.012	0.226

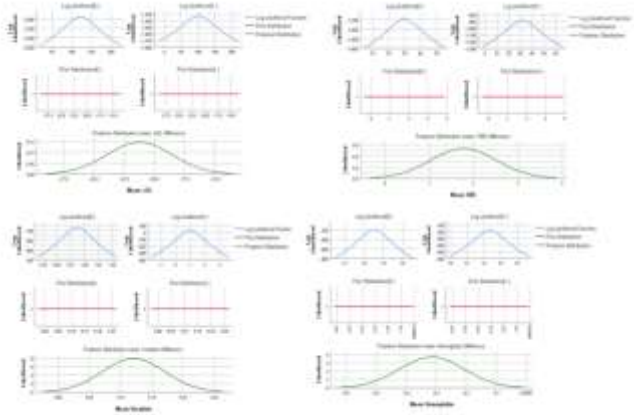
Ort: Ortalama, CI: Güven aralığı.

Şekil 24’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



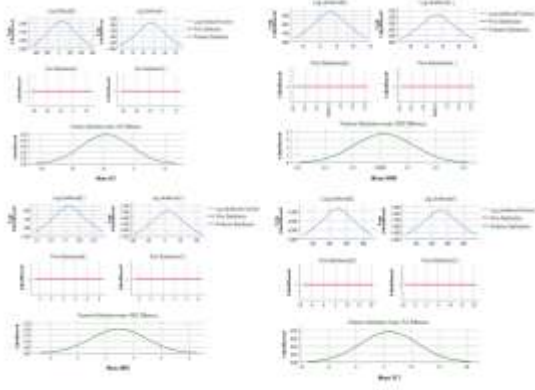
Şekil 24: Glukoz, TG, TKOL, HDL değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 25’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



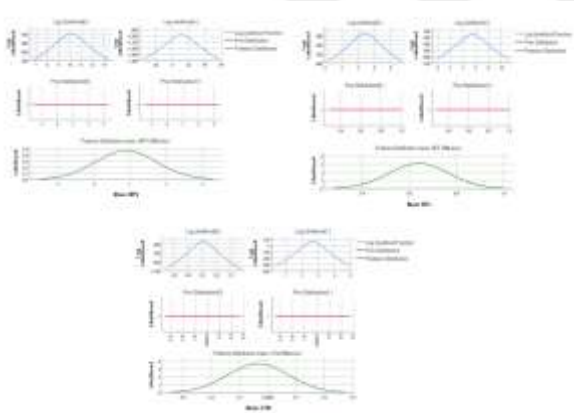
Şekil 25: LDL, üre, kreatinin, hemoglobin değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 26’da araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 26: HCT, RDW, WBC, PLT değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

Şekil 27’de araştırmaya katılan bireylerin İKH olma durumları bazında ölçülen MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 27: MPV, NÖT, LYM değerlerinin dağılımı, Jeffreys önsel dağılım ve sonsal dağılım grafikleri.

5. TARTIŞMA

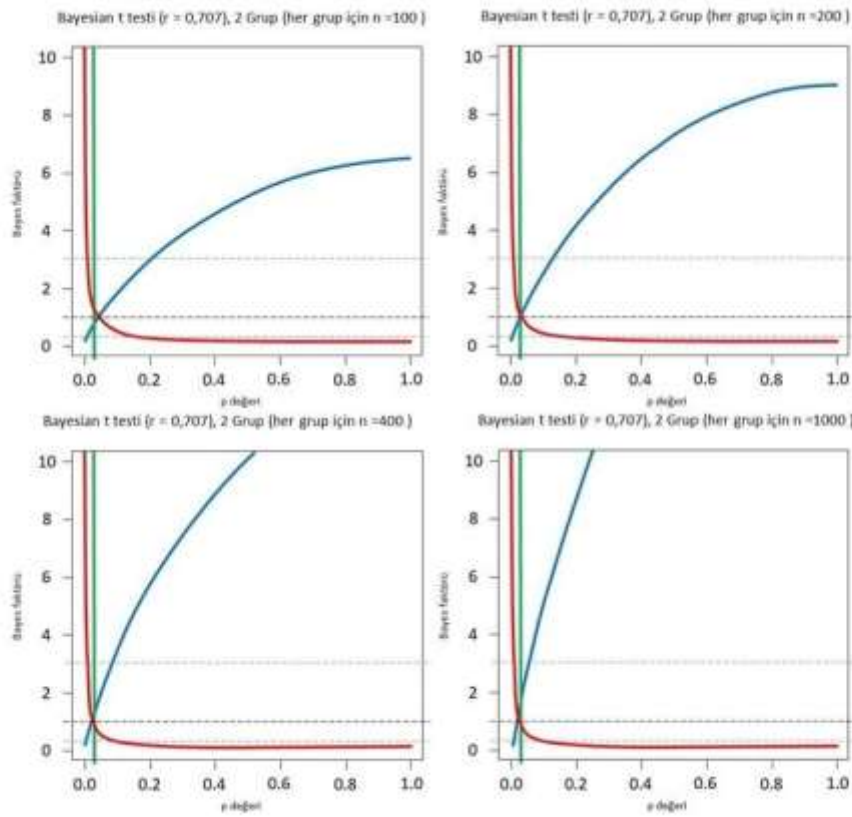
Pek çok deneysel araştırmada bilimsel sonuçların anlamlılık derecesinin p değeri ile desteklenmesi gerekmektedir. Anlamlılık testi frekansçı paradigmaya aittir. Bununla birlikte frekansçı yaklaşım tek bir teoriden ziyade iki yaklaşımın birleşiminden oluşmuştur; Fisher'in tümevarımcı yaklaşımını tarafından ortaya atılan sıfır hipotezi, ve Neyman ve Pearson'un tündengelimci alternatif hipotezi ve güç kavramı.

Bir çalışmanın yanıltıcı sonuçlar doğurmasının pek çok nedeni sıralanabilir. Çalışma esnasında karıştırıcı faktörlerin kontrolü yeterince yapılmamış olabilir. Çalışma dikkatlice planlanmış olsa dahi tip 1 ve tip 2 hatalar ortaya çıkabilir. Çıkarımsal istatistiğin temel amacı rastsal hatadan kaynaklanan tip 1 ve tip 2 hataları kontrol altına almaktır. Fisher yaklaşımında p değeri sıfır hipotezine karşı kanıtın gücü olarak değerlendirilir. P değeri 0'a yaklaştıkça sıfır hipotezinin doğru olma olasılığı düşer. Örnek olarak boy ile kilo arasında $r=0.50$ değerinde korrelasyon bulduğumuzu varsayalım. On kişilik bir örneklem grubunda bu sonuçlar şansa bağlı olabilir. Örneklem büyüklüğü arttıkça rastsal faktörler daha küçük sapmalara neden olur ve sonuçların rastsal örneklem hatası taşıma ihtimali küçülür (örn; uzun ve ağır kişilerin örnekleme fazla dahil olması ve kısa ve zayıf kişilerin daha az dahil olması gibi). Fisher yaklaşımının en büyük problemi sıfır hipotezini reddetmek için bir p değerini vermemesidir. Burada p değeri sıfır hipotezine karşı nicel bir ölçü olmasına rağmen karar konusunda kanıtın ne kadar güçlü olduğu hakkında bir fikir sağlamaz.

Neyman-Pearson bu sorunu bir kritik değer ortaya atarak çözmüştür. En sık kullanılan kritik değer $p=0.05$ 'tir. Kanıtlar 0.05'ten küçük bir p değerini ortaya çıkarıyor ise sıfır hipotezi reddedilir, 0.05'ten büyük değer elde edilir ise sıfır hipotezi kabul edilir.

Bayesyen yaklaşım p değerini hipotezin doğru olma olasılığı hakkında bilgi vermediği ve yanlış olarak hipotezin doğru olma olasılığı olarak yorumlanmasını eleştirir. Ancak Bayes faktöründe sınırlılıkları mevcuttur. Bayes faktörünün hangi noktada hipotezin doğru olduğu şeklinde yorumlanması gerektiği belirli değildir. Ayrıca varsayılan fonksiyonun alternatif hipotezi yeterli ölçüde yansıtmayabilir. Bayesyen istatistikte de Neyman Pearson yaklaşımı ile benzer problem vardır; tip II hata oranlarını kontrol etmek için etki büyüklüğü hakkında önsel varsayımlar gereklidir. Bayesyen istatistikte etki büyüklüğünün önsel dağılımı Bayes faktörü etkiler. Bayesyen yaklaşımda genel yaklaşım Bayes faktörün 10 ve üzerinde olması

durumunda çalışmanın bitirilebileceği yönündedir. Bayesyen t istatistiğinde elde edilen Bayes faktörü t-istatistiğine, serbestlik derecesine ve varsayılan parametrenin önsel dağılımına bağlıdır. Bayes faktörü ve p değeri birbiri ile ilişkilidir. Aralarındaki en önemli fark p değerinin tüm örneklem büyüklüklerinde aynı anlamı taşıması, aynı t değerine sahip Bayes faktörün ise örneklem büyüklüğüne bağlı olarak değişmesidir. Yaklaşık ve kesin farklılıkların ayırt edilmesi için yeterli olmayan küçük örneklem büyüklüklerinde Bayes faktörü sıfır hipotezi için kanıt edinilmesine imkan verir. Büyük örneklem büyüklüklerinde ise Bayes faktör küçük sapmaların bile saptanmasını sağlar (Rouder et al., 2009, p 23). Aynı populasyon, farklı örneklem büyüklüklerinde 3 farklı sonucun ortaya çıkmasına yol açabilir; küçük örneklem büyüklüğünde sıfır hipotezini destekleyebilir, orta örneklem büyüklüğünde kesin olmayan sonuçlar sunabilir, büyük örneklem büyüklüklerinde alternatif hipotez lehine kanıt gösterebilir.



Şekil 28: Örneklem büyüklüğü fonksiyonuna göre Bayes faktörünün değişimi.

Şekil 28’de örneklem büyüklüğü fonksiyonuna göre Bayes faktörün (H_0/H_1) değişimi gösterilmiştir. Örneklem büyüklüğü arttıkça bayes faktörü kritik değer olan 3’e daha erken ulaşır, her grup için $n=1000$ sayısına ulaşıldığında (toplam $n=2000$) Bayes testinin H_1 veya H_0 için güçlü kanıt üretmesi beklenir. Bayes faktörün örneklem büyüklüğüne hassasiyeti anlaşılabilir bir noktadır. Örneklem büyüklüğü arttıkça daha küçük etkilerin tespit edilebilmesi için gereken istatistiksel güç artar. Sonsuz örneklem büyüklüğüne sahip bir çalışma teorik olarak %100 güce sahiptir. Bu durum tüm populasyon çalışıldığında ve etki büyüklüğü sıfır olduğunda sıfır hipotezinin kanıtlanması anlamına gelir. Halbuki, sıfırdan en küçük bir sapma sıfır hipotezinin reddine neden olur. Şekilde, H_1 hipotezinin doğruluğunda, p değerinin ve Bayes faktörünün hemen hemen aynı bilgiyi verdiğini göstermektedir. BF_{10} ya da p değerleri üzerine kurulan istatistiksel kararlar aynı sonuca götürür. $p=0.05$ değeri yaklaşık olarak $BF_{10}=3$, $p=0.005$ değeri ise yaklaşık olarak $BF_{10}=10$ ’a denk gelmektedir. Bu nedenle Bayes faktörünün p değerine göre tip 1 hata yapma olasılığı aynı bilgiyi yansıttığı için daha az değildir.

Bayes faktörü ve p değeri arasındaki temel fark anlamlı olmayan sonuçların değerlendirilmesinde ortaya çıkar ($p>0.05$, $BF_{10}<3$). Klasik Neyman Pearson yaklaşımında anlamlı olmayan tüm sonuçlar sıfır hipotezi lehine kullanılır, ancak tip 2 hata oranının belirlenmesi için de incelenir (Berger 2003). Fisher-Neyman-Pearson hibrit yaklaşımında ise anlamlı olmayan sonuçlar kesin olarak değerlendirilmez ve sıfır hipotezi lehine değerlendirilmez. Bayesyen t-testi kesin olmayan sonuçlar ile sıfır hipotezini destekleyen sonuçların ayırt edilmesine olanak verir. Sözü edilen iki durumun ayırt edilmesi için kriter bir değer ortaya atılmıştır, $BF_{01}>3$ sıfır hipotezinin kabulü için makul bir değerdir. Dahası, küçük örneklemelerde daha katı kriterler yararlı olmaz çünkü BF_{01} değeri 10 ve üzerine hiçbir zaman çıkmaz. Bu nedenle küçük örneklemelerde anlamlı olmayan sonuçlar genellikle kesin olmayak değerlendirilir.

Tüm istatistiksel yaklaşımlar gözlenen etki büyüklüğünün örneklem hatası oranı ile ilişkilidir. Ayrıca tüm istatistiksel çıkarımlarda örneklem hataları daha az olan çalışmalar çok olan çalışmalara göre daha güçlüdür. Ampirik araştırmalardaki en büyük zorluk bir etki mevcut iken bu etkinin ortaya çıkarılabilmesi için kaynakların yeterli istatistiksel güce sahip olacak şekilde tahsis edilmesidir. Yüksek istatistiksel güç ile bir etkinin saptanması durumunda p değerinin küçük olması ve Bayes faktörünün ve p değerinin aynı bilgiyi vermesi beklenir. Yüksek güç,

tip II hatanın daha düşük olması anlamına gelir ki bu durum anlamsız sonucun hipotezin yanlış kurulması olasılığını yükseltir. Yüksek bir güçte çalışma planlanırken verinin frekansçı ya da Bayesyen istatistik ile değerlendirilmesi açısından fark bulunmamaktadır. Bayes faktörü küçük örneklerde sıfır hipotezini desteklemek için sihirli bir araca sahip değildir. Küçük örneklerde orta-yüksek etki büyüklüklerinde yanlış olarak sıfır hipotezini destekleyebilir. Sonuç olarak, p değeri ve bayes faktörünün araştırmacı tarafından uygun bir şekilde yorumlanması gereklidir. Bayesyen t testinin sonuçları örneklem büyüklüğüne bağlı olan örneklem hatalarının oranına bağlıdır. Küçük örneklerde sıfır hipotezinin kabulü için düşük bir güce sahiptir.

Kaynaklar

- Altman, D.G. (1991). Practical statistics for Medical Research. London, UK: Chapman and Hall;
- Berger, J.O. (2003). Could Fisher, Jeffreys and Neyman have agreed on testing? Statist. Sci. 18(1): 1-32 (February 2003). DOI: 10.1214/ss/1056397485
- Brewer, B.J. (2017). STATS 331 Introduction to Bayesian Statistics.
- Consul, P.C., Famoye, F. (2006). Lagrangian Probability Distributions. Springer.
- Donovan, T.M., Mickey, R.M. (2019). Bayesian Statistics for Beginners. A step-by-step Approach. Oxford University Press.
- Ekici, O. (2009). İstatistikte Bayesyen ve Klasik Yaklaşımın Kavramsal Farklılıkları. Conceptual Distinctions of Bayesian and Classical Approaches in Statistics. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Cilt 12 Sayı 21. ss.89-101
- Erdem, I. (2017). Matematiksel İstatistik.
- Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S., Dunson, D.B., Vehtari, A., Rubin, D.B. (2014). Bayesian data analysis, vol. 2. Boca Raton, FL: CRC press.
- Genç, A., Karadavut, U., Palta, Ç. (2010). Lineer olmayan Bayesçi regresyon ve tarım alanında bir uygulama. TUBAV bilim dergisi. Cilt:3, Sayı:3, Sayfa:250-258
- Gordon, I. (2013). Supporting Australian Mathematics Project guide for teachers – Years 11 and 12 Probability and statistics: Module 20 Binomial distribution
- Gu, X., Hoijtink, H., Mulder, J. (2016). Error probabilities in default Bayesian hypothesis testing. Journal of Mathematical Psychology, 72, 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2015.09.001>.
- Gupta, A.K., Nadarajah, S. (2018). Handbook of Beta Distribution and Its Applications.

- Gupta, R., Gupta, V.P., Sarna, M. et al. (2002). Prevalence of coronary heart disease and coronary risk factors in urban Indian population: Jaipur Heart Watch -2. *Indian Heart J.* 54:59-66.
- Heard, N. (2021). *An Introduction to Bayesian Inference, Methods and Computation.* Springer.
- Houghton, D.E., Koh, I., Ellis, A., et al. (2019). Hemoglobin levels and coronary heart disease risk by age, race, and sex in the reasons for geographic and racial differences in stroke study (REGARDS). *Am J Hematol.* 2020 Mar;95(3):258-266. doi: 10.1002/ajh.25703. Epub 2019 Dec 22.
- Jeffrey, R. (2004). *Subjective probability: The real thing.* doi:10.1017/CBO9780511816161.
- Jeffreys, H., (1961). *Theory of Probability* (3rd ed.). Oxford, U.K.: Oxford University Press.
- Kelter, R. (2021). Analysis of type I and II error rates of Bayesian and frequentist parametric and nonparametric two-sample hypothesis tests under preliminary assessment of normality. *Computational Statistics* volume 36, pages 1263–1288.
- Kelter, R. (2022). Power analysis and type I and type II error rates of Bayesian nonparametric two-sample tests for location-shifts based on the Bayes factor under Cauchy priors. *Computational Statistics & Data Analysis* Volume 165, 107326. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2021.107326>
- Kim, H.Y. (2015). Statistical notes for clinical researcher: Type I and type II errors in statistical decision. *Restor Dent Endod.* 40(3):249-52. doi: 10.5395/rde.2015.40.3.249.
- Koptur, M. (2020). *Bayesci İstatistige Giriş.* DOI: 10.13140/RG.2.2.30359.93608/1

- Linden, V., Chryst, B. (2017). No need for Bayes Factors: A fully Bayesian evidence synthesis. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fams.2017.00012/full>
- Maccallum, R. C., Browne, M. ve Sugawara, H. M. (1996). Power Analysis and Determination of Sample Size for Covariance Structure Modeling. *Psychological Methods* 1(2): 130-149.
- Mazen, A. M., Graf, L. A., Kellog, K. E., ve Hemmasi, M. (1987). Statistical Power in Contemporary Management Research. *The Academy of Management Journal* 30(2): 369-380.
- Moye, L.A. (2013). *Elementary Bayesian Biostatistics*. Chapman and Hall/CRC Biostatistics Series.
- Morey, R.D., Rouder, J.N., Verhagen, J., Wagenmakers, E.J. (2014). Why hypothesis tests are essential for psychological science a comment on Cumming. *Psychol Sci.*25(6):1289–90.
- Mozaffarian, D., Benjamin, E., Go A., et al. (2016). Heart disease and stroke statistics-2016 update. A report from the American Heart Association. *Circulation*.133:0.
- Pizzulli, L., Yang, A., Martin, J.F., et al. (1998). Changes in platelet size and count in unstable angina compared to stable angina or non-cardiac chest pain. *Eur Heart J.* 19(1):80-4. doi: 10.1053/euhj.1997.0747.
- Raftery, A.E. (1995). Bayesian model selection in Social Research. *Sociological methodology*, Marsden, P.V. Cambridge, Mass., Blackwells: 111-196.

- Ranjith, M.P., Divya, R., Metha, V.K., et al. (2009). Significance of platelet volume indices and platelet count in ischaemic heart disease. *J Clin Pathol* 2009;62:830–833. doi:10.1136/jcp.2009.06678
- Rather, N.A., Rather, T.A. (2017). New Generalizations of Exponential Distribution with Applications. *Hindawi Journal of Probability and Statistics*. Article ID 2106748, 9 pages <https://doi.org/10.1155/2017/2106748>
- Rosner, B (2006). *Fundamentals of Biostatistics*. 6th ed. Belmont: Duxbury Press; 2006. 226-252.
- Roth, G.A., Johnson, C., Abajobir, A., et al. (2017). Global, regional, and national burden of cardiovascular diseases for 10 causes, 1990 to 2015. Roth GA, Johnson C, Abajobir A, et al. *J Am Coll Cardiol*.70:1–25.
- Rouder, J.N., Speckman, P.L., Sun, D., et al. (2009). A Bayes factor meta-analysis of Bem's ESP claim. *Pschonomic Bulletin and Review*. Advance online publication. doi:10.3758/s13423-011-70088-7
- Sacco, W. (1982). Statistical Power Considerations in the Use of Cost-Effectiveness Analysis. *Professional Psychology* 13(5): 752, 758.
- Sampasa-Kanyinga, H., Lewis, R.F. (2015). Frequent use of social networking sites is associated with poor psychological functioning among children and adolescents. *Cyberpsychology Behav Soc Netw*. 18:380–385.
- Shuster, J.J. (1990). *Handbook of sample size guidelines for clinical trials*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Suresh, K.P., Chandrashekara, S. (2012) Sample size estimation and power analysis for clinical research studies *J Hum Reprod Sci* .Jan;5(1):7-13. doi: 10.4103/0974-1208.97779.

- Sweetnam, P.M., Thomas, H.F., Yarnell, J.W., et.al.(1997).Total and Differential Leukocyte Counts as predictors of ischemic heart disease: The Caerphilly and Speedwell Studies. Am J Epidemiol.145:416–21.
- Terzi, Y., Murat, N., Cengiz, M.A. (2008). Bayesci hipotez testleri ve Bayes faktörü. e-Journal of New World Sciences Academy. Volume: 3, Number: 2 Article Number: A0073
- Öztürk, Z., Cengiz, M.A. (2017). Bayesci Genelleştirilmiş Lineer Karma Modellerde Önsel Seçimleri ve Karşılaştırılması. Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences Volume 21, Issue 3, 999-1010, 2017
- Weijenberg, M.P., Feskens, E.J., and Kromhout, D.(1996). White blood cell count and the risk of coronary heart disease and all-cause mortality in elderly men. Arterioscler Thromb Vasc Biol 16:499–503.
- Yücel, L.İ. (2010). İstatistik-1. İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi.

