



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK SEVİYELİ YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ ve BİR UYGULAMA

Ertan AKGENÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İstatistik Anabilim Dalı

Kasım-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK SEVİYELİ YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ ve BİR UYGULAMA

Ertan AKGENÇ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İstatistik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN

2018, 120 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet PEKGÖR
Dr. Öğr. Üyesi Yunus AKDOĞAN

Yapısal eşitlik modellemesi (SEM), sebep-sonuç üzerine kurulan hipotezleri test etmek amacıyla kullanılan istatistiksel modelleme yöntemidir. Günümüzde elde edilen verilerin karmaşık ya da hiyerarşik yapıda olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi (MSEM) kullanılmaktadır. Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi, iç içe geçmiş (hiyerarşik) verileri grup içi ve gruplar arası bileşenlerine ayırıp analiz etmektedir.

Bu araştırmanın amacı, Türkiye'de ve Singapur'da eğitim gören öğrencilerin Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA) 2015 Fen, Matematik ve Okuma Becerisi Okuryazarlığı Testi'nde göstermiş oldukları performansı çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi yöntemi kullanarak analiz etmektir. Araştırmanın kitlesini uygulamaya katıldıkları tarih itibariyle yaşları 15 ile 16 arasında değişen en az altı yıllık örgün eğitimi tamamlamış Türk ve Singapurlu öğrenciler oluşturmaktadır. Türk ve Singapur öğrencilerinin, PISA-2015 verilerine göre eğitim performanslarının öğrenci ve okul seviyesinde farklılaşıp farklılaşmadığı Mplus paket programı aracılığıyla analiz edilmiştir.

Analiz sonucu olarak, hem Türkiye hem de Singapur için oluşturulan modelin, iyi uyum gösteren çok seviyeli bir yapısal eşitlik modeli olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi, Mplus paket programı, PISA 2015 verileri, Yapısal eşitlik modellemesi.

ABSTRACT

MS THESIS

MULTILEVEL STRUCTURAL EQUATION MODELING and AN APPLICATION

Ertan AKGENÇ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN STATISTICS

Advisor: Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN

2018, 120 Pages

Jury
Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN
Assistant Prof. Dr. Ahmet PEKGÖR
Assistant Prof. Dr. Yunus AKDOĞAN

Structural equation modeling (SEM) is a statistical modeling method, which is used to test hypotheses based on cause and effect. Today, it is observed that some of the obtained data are complex or hierarchical. In this case, a multi-level structural equation modeling (MSEM) have been used. The multi-level structural equation modeling analyzes the nested (hierarchical) data by dividing into within-group and between-groups components.

The aim of this study is to analyze the performance of Turkish and Singaporean students in Mathematics, Reading and Science, on the Program for International Student Assessment (PISA) 2015 using a multi-level structural equation modeling method. The population of the research consists of Turkish and Singaporean students who completed at least six years of formal education, whose ages between 15 and 16 as of the date of their participation. According to the PISA-2015 data, the educational performances of Turkish and Singaporean students are analyzed at the student level and school level by means of the Mplus package program.

As a result of analysis, it is determined that the created model for both Turkey and Singapore is a multi-level structural equation model with good fit.

Keywords: Multilevel structural equation modeling, Mplus package program, Structural equation modeling, PISA 2015 data.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, istatistiksel hipotezlerin neden-sonuç ilişkisine dayalı hiyerarşik yani kümelenmiş veriler üzerine kurulmuş yapılar çok seviyeli yapısal eşitlik modelleri ile incelenmiştir. Uluslararası bir proje verileri kullanılarak çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi yöntemi ile örnek bir uygulama sunulmuştur.

Bu tez çalışmasının planlanmasında, yürütülmesinde, araştırılmasında ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen engin bilgi ve tecrübesinden yararlandığım çalışmamı aydın görüşleriyle bilimsel temellere dayandırarak şekillendiren saygıdeğer hocam **Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN'a**, paket program konusunda bilgisiyle beni aydınlatan **Doç. Dr. Tuncay ÖĞRETMEN'e**, fikir ve görüşlerini benimle paylaşarak katkıda bulunan **Selçuk Üniversitesi İstatistik Bölümü** hocalarıma, üzerimde emeği geçen **Sinop Üniversitesi İstatistik Bölümü** hocalarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışma sürecimde maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen başta ailem olmak üzere can babam bildiğim Sabahattin KARAATAY ağabeyime ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ertan AKGENÇ
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **ix**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xi**

1. GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI **1**

1.1. Giriş 1
1.2. Kaynak Araştırması 3

2. YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ **7**

2.1. Tarihsel Gelişim 7
2.2. Temel Kavramlar 8
2.3. Yapısal Eşitlik Modellemesinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar 10
2.4. Uygulama Adımları 11
2.5. Teorik Yapı 15
2.6. Uyum İstatistikleri 18
2.7. Yol Analizi 36
2.8. Faktör Analizi 44
2.9. Yapısal Eşitlik Modellemesinde Kullanılan Programlar 48

3. ÇOK SEVİYELİ YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ **51**

3.1. Temel Kavramlar 51
3.2. Teorik Yapı 55
3.3. Uygulama Adımları 62
3.4. Model Tahmini 63
3.5. Çok Seviyeli Faktör Analizi 66
3.6. Çok Seviyeli Yol Analizi 69
3.7. Mplus Paket Programı Tanıtımı 71

4. UYGULAMA **87**

4.1. Uygulamanın Kitlesi, Örneklemi ve Yöntemi 87
4.2. Uygulamanın Bulguları 90
4.2.1. Türkiye için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi sonuçları 90
4.2.2. Singapur için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi sonuçları 101

5. SONUÇ VE ÖNERİLER **108**

KAYNAKLAR **110**

EKLER 116

ÖZGEÇMİŞ 120

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER DİZİNİ

Şekiller Dizini

Şekil 2.1. Ölçüm modeli 9
Şekil 2.2. Yapısal model 9
Şekil 2.3. Yapısal eşitlik modellemesi uygulama adımları 15
Şekil 2.4. Yapısal eşitlik modellemesi için yol analizi modeli örneği 35
Şekil 2.5. Gözlenen değişkenler ile kurulan yol analizi modeline ilişkin yol diyagramı 39
Şekil 2.6. Gizil değişkenlerle yol analizine ilişkin yol diyagramı 40
Şekil 2.7. Tek göstergeli gözlenen dışsal değişken 41
Şekil 2.8. Tek göstergeli gözlenen içsel değişken 41
Şekil 2.9. Dönüşümlü yol modeli 42
Şekil 2.10. Dönüşümlü olmayan yol modeli 42
Şekil 2.11. Doğrudan etki gösteren değişkenlerine ilişkin yol modeli 43
Şekil 2.12. Dolaylı etki gösteren değişkenlerine ilişkin yol modeli 43
Şekil 2.13. U tipi ilişki gösteren değişkenlerine ilişkin yol modeli 44
Şekil 2.14. S tipi ilişki gösteren değişkenlere ilişkin yol modeli 44
Şekil 2.15. Tek faktörlü model örneği 46
Şekil 2.16. İkinci düzey doğrulayıcı faktör modeli örneği 47
Şekil 2.17. İlişkisiz model örneği 48
Şekil 3.1. Çok seviyeli modelleme ile yapısal eşitlik modellemesinin şema gösterimi . 52
Şekil 3.2. Çok seviyeli yapısal eşitlik modelinin yol diyagramı 61
Şekil 3.3. Mplus Editor programının başlatılması 72
Şekil 3.4. Mplus Editor programının ana ekranı 72
Şekil 3.5. Mplus Editor programı File menüsü 73
Şekil 3.6. Mplus Editor programı Edit menüsü 74
Şekil 3.7. Mplus Editor programı View menüsü 74
Şekil 3.8. Mplus Editor programı Mplus menüsü 75
Şekil 3.9. Language Generator > SEM birinci sayfa ekranı 76
Şekil 3.10. Language Generator > SEM ikinci sayfa ekranı 77
Şekil 3.11. Language Generator > SEM üçüncü sayfa ekranı 78
Şekil 3.12. Language Generator > SEM dördüncü sayfa ekranı 78
Şekil 3.13. Language Generator > SEM beşinci sayfa ekranı 79
Şekil 3.14. Language Generator > SEM altıncı sayfa ekranı 80
Şekil 3.15. Language Generator > SEM yedinci sayfa ekranı 81
Şekil 3.16. Language Generator > SEM sekizinci sayfa ekranı 82
Şekil 3.17. Mplus Editor programı Graph menüsü 83
Şekil 4.1. Mplus Editor syntax girdisi (ERT1.inp) 97
Şekil 4.2. Türkiye için kurulan modele ait çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi gösterimi 100
Şekil 4.3. Mplus Editor syntax girdisi (ERT2.inp) 104
Şekil 4.4. Singapur için kurulan modele ait çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi gösterimi 106

Çizelgeler Dizini

Çizelge 1.1. Eğitim alanında uygulanan uluslararası araştırmalar 5
Çizelge 2.1. Gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı uyum indeksleri . 21
Çizelge 2.2. İncelenen model ile alternatif modelin karşılaştırmasına dayalı uyum indeksleri 24
Çizelge 2.3. Gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı fakat parametre sınırlandırmayı dengeleyici uyum indeksleri 28
Çizelge 2.4. Bilgi teorisine dayalı uyum indeksleri 31
Çizelge 2.5. Artımlı yedi indeks için ki-kare gösterimi 33
Çizelge 2.6. Önerilecek model için yeniden tanımlama örneği 36
Çizelge 2.7. Yapısal eşitlik modellemesi yol diyagramına ilişkin semboller ve açıklamaları 38
Çizelge 2.8. Yapısal eşitlik modellemesinin internet alanındaki yeri 49
Çizelge 3.1. Mplus Editor kısayol çubuğu ifadeleri (Versiyon 5.1) 84
Çizelge 4.1. Yıllara göre PISA Araştırması temel ağırlıklı araştırma alanları 88
Çizelge 4.2. İBBS Düzey 1'e göre PISA 2015 araştırması için belirlenen örneklem sayıları ve yüzdeleri 89
Çizelge 4.3. Değişkenlere ilişkin PISA 2015 veri kodları 91
Çizelge 4.4. Türkiye için belirlenen değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler 95
Çizelge 4.5. Türkiye için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi Mplus sonuçları 98
Çizelge 4.6. Türkiye için kurulan modele ilişkin uyum iyiliği istatistikleri 100
Çizelge 4.7. Singapur için belirlenen değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler 102
Çizelge 4.8. Singapur için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi Mplus sonuçları . 104
Çizelge 4.9. Singapur için kurulan modele ilişkin uyum iyiliği istatistikleri 106

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

***y*:** İçsel değişken

***x*:** Dışsal değişken

η (eta): Gizil içsel değişkeni

ξ (xi/ ksi): Gizil dışsal değişkeni

β (beta): η'nın η üzerine etkisi (değişken katsayısı)

Γ, γ (gamma): ξ'nin η üzerine etkisi

ζ (zeta): η değişkenine ait hata değişkeni

Λy (lambda y): η'ların y üzerine etkisi

Λx (lambda x): ξ'ların x üzerine etkisi

δ (delta): x değişkenlerine ait hatalar

ε (epsilon): y değişkenine ait hatalar

Θ ε (theta epsilon): ε'a ait varyans-kovaryans matrisi

Θ δ (theta delta): δ'ya ait varyans-kovaryans matrisi

Ψ (psi): ζ'ya ait varyans-kovaryans matrisi

σ (sigma): Kovaryans matrisi

Σ(θ): Modelden elde edilen kovaryans matrisi

p: Gözlenen değişken sayısı

n: Örnek büyüklüğü

S: Örneklem kovaryans matrisi

Cov (x,y): x ile y arasındaki kovaryans

E (x): x'in bekenen değeri

ρ (rho): Korelasyon katsayısı

Ω (omega): Parametre vektörü

Φ (phi): Varyans-kovaryans faktör matrisi

T: Toplam model

T_t: Hedef model

T_b: Temel model

χ_2 (khi): Ki-kare test istatistiği

sd: Serbestlik derecesi

Kısaltmalar

ABA: Amerikan Barolar Birliği (**A**merican **B**ar **A**ssociation)

AGFI: Düzenlenmiş Uyum iyiliği İndeksi (**A**djusted **G**oodness of **F**it **I**ndex)

AIC: Akaike Bilgi Kriteri (**A**kaike **I**nformation **C**riterion)

AMOS: Moment Yapıların Analizi (**A**nalysis of **Mo**ment **S**tructures)

BCC: Browne-Cudeck Kriteri (**B**rowne-**C**udeck **C**riterion)

BFI: Bentler'in Uyum İndeksi (**B**entler's **F**it **I**ndex)

BIC: Bayesci Bilgi Kriteri (**B**ayesian **I**nformation **C**riterion)

BL86: Bollen 86 Uyum İndeksi (**B**ollen86 **F**it **I**ndex)

CAIC: Tutarlı Akaike Bilgi Kriteri (**C**onsistent **A**kaike **I**nformation **C**riterion)

CFA: Doğrulayıcı Faktör Analizi (**C**onfirmatory **F**actor **A**nalysis)

CFI: Karşılaştırmalı Uyum İndeksi (**C**omparative **F**it **I**ndex)

CN: Hoelter'ın Kritik N Değeri (Hoelter's **C**ritical **N**)

ECVI: Beklenen Çapraz Doğrulama İndeksi (**E**xpected **C**ross-**V**alidation **I**ndex)

EDP: Eğitim Çeşitliliği Projesi (**E**ducational **D**iversity **P**roject)

EFA: Açımlayıcı Faktör Analizi (**E**xploratory **F**actor **A**nalysis)

ESS: Avrupa Sosyal Anketi (**E**urope **S**ocial **S**urvey)

FIML: Tam Bilgi En Çok Olabilirlik Tahmini (**F**ull **I**nformation **M**aximum **L**ikelihood Estimation)

GFI: Uyum İyiliği İndeksi (**G**oodnes of **F**it **I**ndex)

ICC: Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı (**I**ntraclass **C**orrelation **C**oefficient)

IES: Etkileşim Etki Boyutu (**I**nteraction **E**ffect **S**ize)

IFI: Artımlı Uyum İndeksi (**I**ncremental **F**it **I**ndex)

İBBS: İstatistikî **B**ölge **B**irimleri **S**ınıflaması

LISREL: Doğrusal Yapı İlişkileri (**Li**near **S**tructural **Rel**ations)

MCI: Mcdonald Merkezileştirilmemiş Parametre İndeksi (**Mc**donald Noncentrality Parameter **I**ndex)

MEB: Milli **E**ğitim **B**akanlığı

ML: En Çok Olabilirlik (**M**aximum **L**ikelihood)

MPLUS: Mplus Paket Programı

MSEM: Çok Seviyeli Yapısal Eşitlik Modellemesi (**M**ultilevel **S**tructural **E**quation **M**odeling)

MUML: Muthên'in En Çok Olabilirlik Tahmini (**Mu**thên's **M**aximum **L**ikelihood Estimation)

NFI: Normlaştırılmış Uyum İndeksi (**N**ormed **F**it **I**ndex)

NNFI: Normlaştırılmamış Uyum İndeksi (**N**on-**n**ormed **F**it **I**ndex)

OECD: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (**O**rganization of **E**conomic **C**ooperation and **D**evelopment)

PCFI: Parsimony Karşılaştırmalı Uyum İndeksi (**P**arsimony **C**omparative **F**it **I**ndex)

PCLOSE: P Yakın Uyumu (**P** of **Close** Fit)

PGFI: Parsimony Uyum İyiliği İndeksi (**P**arsimony **G**oodness of **F**it **I**ndex)

PI: Parsimony İndeks (**P**arsimony **I**ndex)

PIRLS: Uluslararası Okuma Becerilerinde Gelişim Araştırması (**P**rogress in **I**nternational **R**eading **L**iteracy **S**tudy)

PISA: Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (**P**rogramme for **I**nternational **S**tudent **A**ssessment)

PNFI: Parsimony Normlaştırılmış Uyum İndeksi (**P**arsimony **N**ormed **F**it **I**ndex)

PRATIO: Parsimony Oranı (**P**arsimony **Ratio**)

RFI: Göreceli Uyum İndeksi (**R**elative **F**it **I**ndex)

RMR: Artık Kareler Ortalamasının Karekökü (**R**oot **M**ean Square **R**esidual)

RMSEA: Yaklaşık Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (**R**oot **M**ean **S**quare **E**rror of **A**pproximation)

RNI: Göreceli Merkezil Olmayan Uyum İndeksi (**R**elative **N**on-central Fit **I**ndex)

SEM: Yapısal Eşitlik Modellemesi (**S**tructural **E**quation **M**odeling)

SIMS: İkinci Uluslararası Matematik Anketi (**S**econd **I**nternational **M**athematics **S**urvey)

SPSS: Sosyal Bilimler İçin İstatistiksel Paket Programı (**S**tatistical **P**ackage for the **S**ocial **S**ciences)

RMSR: Standardize Edilmiş Artık Kareler Ortalamasının Karekökü (Standardized **R**oot **M**ean **S**quare **R**esidual)

TIMSS: Uluslararası Matematik ve Bilim Çalışmasında Eğilimler (**T**rends in **I**nternational **M**athematics and **S**cience **S**tudy)

TLI: Tucker Lewis İndeksi (**T**ucker **L**ewis **I**ndex)

TONI: Sözel Olmayan Zeka Testi (**T**est **o**f **N**onverbal **I**ntelligence)

WRMR: Ağırlıklı Artık Kareler Ortalamasının Karekökü (**W**eighted **R**oot **M**ean Square **R**esidual)

1. GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

1.1. Giriş

Birçok akademik çalışmada, ölçülen hipotezler ilgili değişkenlerin neden-sonuç ilişkisini ele alarak analiz edilmektedir. Yapısal eşitlik modellemesi (SEM), gizil ve gözlenen değişkenler arasındaki ilişkilere ilişkin hipotezlerin test edilmesine yönelik kapsamlı bir istatistiksel analiz yöntemidir (Hoyle, 1995). SEM iki istatistiksel analiz tekniğinin temeline dayalı olarak türetilmiştir. Bunlardan ilki, psikometri ve psikoloji alanında kullanılan faktör analizi, ikincisi ise ekonometri alanında kullanılan yol analizi yöntemleridir.

Yapısal eşitlik modellemesinin günümüzdeki istatistiksel teorisinin hesaplamaları, 1970'lerin başlarında Jöreskog tarafından geliştirilmiştir. Jöreskog tarafından geliştirilen bu model, gizil değişkenleri eş zamanlı olarak birbirine bağlayan yapısal kısım ve gizil değişkenleri gözlenen değişkenlere bağlayan ölçüm kısmı olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır (Kaplan, 2008).

Yapısal eşitlik modellemesi (SEM), neden-sonuç ilişkisi üzerine kurulan hipotezleri test etmek için kullanılan bir modelleme yöntemidir (Alkış, 2016). Yapısal eşitlik modellemesi (SEM)'nin davranışsal, ticari ve sosyal bilimler gibi birçok alanda yaygın bir modelleme aracı olduğu bilinmekte, fakat tanımlayıcı analiz aracı olduğu söylenememektedir (Barrett, 2007). Yapısal eşitlik modellemesi ayrıca karmaşık yapıdaki biyolojik sistemlerde çoklu sonuçlar arasındaki ilişkiyi nedensellik üzerine araştırabilen çok değişkenli istatistiksel bir analizdir (Cha ve ark., 2017). Ayrıca, sosyal ve davranış bilimlerinde araştırılan verilerin karmaşıklığı nedeniyle araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmektedir.

Yapılan çalışmalarda, çok sayıda küme (hiyerarşi) içeren verilerde bağımsızlık varsayımı ihlal edilmektedir (Can ve ark., 2011). Bu tür varsayım ihlalinin bulunduğu veri yapılarında yani hiyerarşik (iç içe geçmiş) veriler için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi yöntemi önerilmiştir (Cheung ve Au, 2005). Kültürler arası araştırmalarda, eğitim araştırmalarında, tıp araştırmalarında, sosyal bilimler araştırmalarında ve iktisadi araştırmalarda, çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi (MSEM) yaygın olarak kullanılmaktadır (Dyer ve ark., 2005; Goldstein ve ark., 2007; Gottfredson ve ark., 2009; Hox ve ark., 2012; Depaoli ve Clifton, 2015; Dunn ve ark., 2015). Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi, birey ve gruplar için incelenen verilerin varyansyonunu ayrıştırıp eş zamanlı modellemeye olanak sağlamakta ve tahminlerin yansızlığını göz

ardı etmeden analiz sonuçlarını güçlü bir şekilde değerlendirmektedir (Can ve ark., 2011; Can, 2012).

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi (MSEM), normal dağılıma sahip olmayan değişkenler ve kayıp verilerin varlığında modelleri tahmin etmek için kolaylık sağlamaktadır. Muthén ve Muthén (1998) tarafından geliştirilen Mplus paket programı ile, karmaşık yapıdaki veriler için kurulan modeller analiz edilebilmektedir. Uluslararası araştırmalarda elde edilen verilerin analizi için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinin, ölçüm hatalarının modelde yer alması, birden fazla bağımlı değişkenin modellenebilmesi, doğrudan ve dolaylı etkilerin tahmini, en önemlisi de verinin iç içe geçmiş yapısındaki bağımlılığı modelleyerek veriyi her bir seviyede eş zamanlı olarak analiz edebilmesi gibi üstün özellikleri bulunmaktadır (Erşan, 2016).

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinin çok değişkenli analizi için en az iki seviyeye ihtiyaç duyulmaktadır. Birinci seviye bireyleri, ikinci seviye ise grupları temsil etmektedir. Örneğin, Türkiye'de yapılan bir araştırmada bölgeler, okullar ve öğrenciler seçildiğinde, bölgeler modelin üçüncü seviyesini, okullar ikinci seviyesini ve öğrenciler ise birinci seviyesini oluşturmaktadır.

Yapısal eşitlik modellemesi ve çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi üzerine birçok akademik araştırma yapılmıştır (Chou ve Bentler, 2002; Dursun ve Kocagöz, 2010; Hevey ve ark., 2010; Deniz ve ark., 2011; Eboli ve Mazzulla, 2012; Chen ve ark., 2013; Chowa ve ark., 2013). Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi üzerine uluslararası düzeyde bir çok çalışma yapılmasına rağmen Türkiye'de çok az sayıda çalışma yapılmıştır (Aydın, 2016).

Yapısal eşitlik modellemesi, sosyal bilimciler için en popüler istatistiksel yöntemlerden biridir. Yapısal eşitlik modellemesine artan ilgi, SEM çalışmalarını içeren bilimsel bir derginin oluşturulması ve aktif elektronik tartışma platformu olan SEMNET'in varlığı ile de kanıtlanabilmektedir. Yapısal eşitlik modellemesi, teorik ve uygulamalı istatistiksel araştırmaların aktif bir alanıdır. Son yıllarda, yapısal eşitlik modellemesinin altında yatan teorik gelişmelerin olduğu ve karmaşıklaşan veri yapısının çözülmesinde kolaylık sağlayan istatistiksel paket program ya da yazılımların geliştiği görülmektedir.

1.2. Kaynak Araştırması

Hox ve Maas (2001) makale çalışmasında, hiyerarşik verilerin analizi sonucunda yarattığı bağımsız ve özdeş değişkenlerin varsayım ihlallerini araştırmışlardır. Düşük ve yüksek sınıf içi korelasyon varlığında hem bireysel hem de grup düzeyinde eşit olmayan gruplarla, küçük örneklem boyutları kullanılarak çok seviyeli faktör analizi ve yol analizi yöntemlerinin analizi değerlendirilmiştir. Araştırmada örneklem büyüklükleri olarak 50, 100, 200 alınmış ve bir simülasyon çalışması yapılmıştır. LISREL programından elde edilen sonuçlara göre, küme içi korelasyonun düşük olduğu grup düzeyinde örneklem büyüklüğünün küçük (50) olması durumunda kabul edilemez tahminler elde edilmiştir. Grup seviyesinde örneklem boyutunun en az 100 olması durumunda, kabul edilebilir düzeyde tahmin sonuçları elde edilmiştir.

Hershberger (2003)'in makale çalışmasında, 1994 ve 2001 yılları arasında yapısal eşitlik modellemesinin gelişimi ve kullanılma potansiyeli ele alınmıştır. Yapısal eşitlik modellemesi çalışmalarının başladığı ilk yılın 1994 yılı ve verilerin tam olduğu yılın 2001 yılı olması nedeniyle bu tarih aralığı seçilmiştir. 1994-2001 yılları arasında yapısal eşitlik modellemesi üzerine yapılan çalışmaların artış gösterdiği gözlenmiştir.

Goldstein ve ark. (2007) makale çalışmasında, Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA) kapsamında 15 yaşındaki öğrencilerin okuma performansları karşılaştırmışlardır. Çalışmada, çok seviyeli faktör analizi ile verilerin model üzerinde daha iyi uyum sağlayabileceği açıklanmıştır. Çalışmada, parametre tahmini için Markov Zinciri Monte Carlo yöntemi kullanılmıştır. İngiltere, Fransa, Portekiz gibi gelişmiş ülkelerdeki eğitim sistemi incelenmiştir.

Gottfredson ve ark. (2009) makale çalışmasında, ırk çeşitliliğinin eğitim ortamlarındaki etkileri üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, Amerikan Barolar Birliği (ABA) tarafından onaylanmış 64 hukuk fakültesinden Eğitim Çeşitliliği Projesi (EDP) kapsamında veriler toplanmıştır. Örneklem, 4865 katılımcıdan oluşmaktadır. Elde edilen bulgular sonucunda, okulda farklı ırktaki öğrencilerin fikir ve inançlarına artan olumsuz tepkilerin oluştuğu gözlenmiştir. Kısaca, ırk çeşitliliğinin artmasından dolayı düşünce özgürlüğüne baskının da artacağı gözlenmiştir.

Dursun ve Kocagöz (2010) makale çalışmasında, regresyon ve yapısal eşitlik modellemesi yöntemleri uygulamalı olarak karşılaştırılmıştır. Planlanmış davranış teorisi modelinden elde edilen üç model için SEM ve regresyon yöntemi kullanılarak elde edilen bulgular yorumlanmıştır. Örneklem olarak 354 kadın birey seçilmiştir. Araştırmadaki veriler, standart panel (yineleyici) çalışma ve omnibüs panel çalışma ile

elde edilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda, yapısal eşitlik modellemesinden elde edilen varyans değerlerinin regresyon yönteminden elde edilenlere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Can ve ark. (2011) makale çalışmasında, çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi tanıtılmış ve bir yetenek testinden elde edilen veriler analiz edilmiştir. Çalışmada yer alan katılımcılar, İzmir ilinin düşük, orta ve yüksek sosyo-ekonomik düzeylerinden seçilmiş faklı okullardan 39 ayrı sınıfa devam eden 195'i kız, 186'sı erkek 381 ilköğretim birinci kademe öğrencisinden oluşmaktadır. Öğrencilere, genel yetenek testi TONI-3 ölçeği uygulanmıştır. Verilere, iki seviyeli yapısal eşitlik modellemesi uygulanmış ve analizler Mplus programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, öğrencilerin yaşı arttıkça genel yetenek testinden aldıkları puanların arttığı gözlenmiştir.

Davidov ve ark. (2012) makale çalışmasında, madde bağımlılığını açıklayan bir çerçeve oluşturmak için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi yaklaşımı kullanılmıştır. Ölçeklerin ülkeler arasında veya eş zamanlı noktalarda farksız olduğunu test etmek için, Avrupa Sosyal Anketi (ESS) ikinci turundan elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Sonuç olarak, gruplar arası karşılaştırmaların potansiyel olarak sorunlu olduğu ve kişilerin önyargılı olduğu tespit edilmiştir. Evrenselcilik ilkesinin farklı kültür grupları içerisinde ayrıştırıldığına vurgu yapılmıştır.

Asparouhov ve Muthén (2014) makale çalışmasında, çok seviyeli doğrulayıcı faktör analizi için hizalama yöntemi olarak adlandırılan yeni bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntem, kesin ölçüm değişkenliği gerektirmeden gruba özgü faktör ortalamalarını ve varyanslarını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Monte Carlo simülasyonu kullanılarak üç çalışma yapılmış ve hizalama tahmin yöntemlerinin kalitesi incelenmiştir. Sonuç olarak, açıklanan hizalama yönteminin kesin ölçüm değişkenliği gerektirmeden gruba özgü faktör ortalamalarını ve varyanslarını tahmin edebileceği ve çoklu olabilirlik oranı testleri için çoklu grup doğrulayıcı faktör analizi yöntemlerine kıyasla önemli bir alternatif olabileceği ifade edilmiştir.

Yılmaz (2015)'in makale çalışmasında, yapısal eşitlik modellemesi modelinin varsayımları, farklılıkları ve benzerlikleri AMOS, LISREL ve EQS paket programları yardımıyla incelenmiştir. İşsiz bireylerin kredi kartı sahipliği ve kart kullanım davranışları beş faktörlü araştırma modeli ile incelenmiştir. Model tanımlama, varsayım testi, tahmin yöntemleri ve model uyumunun değerlendirilmesi aşamaları ele alınmıştır.

Uluslararası araştırmalarda genellikle çok büyük örnekleme sahip veriler kullanılmaktadır. Bu verilere, Avrupa Sosyal Anketi (ESS), İkinci Uluslararası Matematik Anketi (SIMS), Uluslararası Matematik ve Bilim Çalışmasında Eğilimler (TIMSS) ve Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA) gibi tarama araştırmalarından ulaşılmakta ve oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çizelge 1.1'de, eğitim alanında uygulanan uluslararası araştırmalar verilmiştir (Muthén, 1991; Goldstein ve ark., 2007; Kuntsche ve ark., 2008; Roesch ve ark., 2010; Davidov ve ark., 2012; Dunn ve ark., 2015; Novak ve Pahor, 2017).

Çizelge 1.1. Eğitim alanında uygulanan uluslararası araştırmalar

Kısaltma	Açıklama
ESS	Avrupa Sosyal Anketi
SIMS	İkinci Uluslararası Matematik Anketi
TIMSS*	Uluslararası Matematik ve Bilim Çalışmasında Eğilimler
PISA*	Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı
PIRLS*	Uluslararası Okuma Becerilerinde Gelişim Araştırması
ICCS	Uluslararası Sivil ve Vatandaşlık Eğitim Araştırması
ICILS	Uluslararası Bilgisayar ve Enformasyon Okuryazarlığı Araştırması
LANA	Okuryazarlık ve Nümerik Değerlendirme
ECES	Erken Çocukluk Eğitimi Araştırması
TEDS-M	Matematik Öğretmenliği Eğitim ve Geliştirme Araştırması
SITES	Eğitimde İkinci Bilgi Teknoloji Araştırması
CIVED	Sivil Eğitim Araştırması
LES	Dil Eğitimi Araştırması
COMPED	Eğitimde Bilgisayar Araştırması
RLS	Okuryazarlık Araştırması
WCS	Yazılı Kompozisyon Araştırması
SISS	İkinci Uluslararası Bilim Araştırması
CES	Sınıf Ortamı Araştırması
FISS	Birinci Uluslararası Bilim Araştırması
FIMS	Birinci Uluslararası Matematik Araştırması

*: Türkiye'nin katıldığı çalışmalara örnektir. http://www.iea.nl/iea-studies

Verilerin hiyerarşik (iç içe geçmiş) yapıda olması durumunda, yapısal eşitlik modellemesinin yetersiz kalması nedeniyle, çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda, iç içe geçmiş yapılar ile gerçek hayatta sıklıkla karşılaşıldığından çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesine olan ilgi artmaktadır. Örneğin; öğrenci topluluğunun bireysel seviye olarak ele alındığı bir üniversitede, sınıflar ikinci seviyeyi, bölümler üçüncü seviyeyi, fakülteler dördüncü seviyeyi göstermektedir.

Literatür taraması sonucunda, çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi ile ilgili yapılan çalışmaların dünya çapında yaygınlaşmaya başladığı fakat Türkiye'de bu konuda çok az sayıda makale ve lisansüstü tez çalışmasının yapıldığı görülmüştür. Bu eksikliği gidermek amacıyla bu yüksek lisans tez çalışmasında çok seviyeli yapısal

eşitlik modellemesi ele alınmış, PISA 2015 verileri kullanılarak Türk ve Singapurlu öğrencilerin fen bilimleri okuryazarlığı performans başarısı analiz edilmiştir. Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde, veriler hem bireyler üzerinde hem de gruplar üzerinde incelenebildiğinden değişkenler arasındaki etkileşim daha net bir şekilde belirlenebilmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, öncelikle yapısal eşitlik modellemesi (SEM) hakkında genel bilgiler verilecek, sonrasında çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi (MSEM) ayrıntılı bir biçimde ele alınacaktır. Uygulama aşamasında, çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi kullanılarak PISA 2015 araştırması kapsamında Türk ve Singapurlu öğrencilere uygulanan, öğrenci anketinden elde edilen fen bilimleri performansına etki eden değişkenlerin yanı sıra okul anketinden elde edilen grup özelliklerine etki edebileceği düşünülen değişkenler Mplus paket programı aracılığıyla analiz edilmiştir.

2. YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ

Bu bölümde, yapısal eşitlik modellemesinin tarihsel gelişimi, temel kavramları, uygulama adımları, teorik yapısı ve uyum istatistiklerinin yanısıra yol analizi, faktör analizi ve SEM'de kullanılan paket programlar ele alınacaktır.

2.1. Tarihsel Gelişim

Yapısal Eşitlik Modellemesi (SEM), psikoloji, psikometri ve ekonometri alanlarında faktör analizi çalışmalarını ve genetik alanında yapılan uygulamalarla günümüze kadar gelen modelleri kapsamaktadır (Çokluk ve ark., 2012).

Neden-sonuç niteliğindeki çalışmaların temeli regresyon modellerine dayanmaktadır ve bunu sırasıyla yol analizi, doğrulayıcı faktör analizi (CFA) ve yapısal eşitlik modellemesi takip etmektedir (Meydan ve Şeşen, 2011).

Regresyon analizi, bağımsız değişkenlerin (x) bağımlı değişkenleri (y) açıkladığı bir yöntemdir ve 1896 yılında Karl Pearson tarafından sunulmuştur. Bu çalışmadan sonra, Charles Spearman'ın korelasyon katsayılarının faktör modeli üzerinde etkisinin olduğunu göstermesiyle yeni bir yöntem olan Spearman'ın sıra korelasyonu önerilmiştir (Schumacker ve Lomax, 2004).

Faktör analizi, çok sayıda ölçülebilir değişkenin bağımsız olarak ölçülmesi mümkün olmayan daha az sayıda temel yapıya indirgenmesi için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Bradley, 2017). İlk çalışmaların 1950 yılında başladığı Doğrulayıcı faktör analizi (CFA), değişken kümesindeki yapının türünü doğrulamak veya reddetmek için kullanılan çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir (Meydan ve Şeşen, 2011; Madigan, 2016; Bradley, 2017). Jöreskog (1960), CFA üzerine yoğunlaşarak doğrulayıcı faktör analizi yazılımının gelişmesine önemli katkılarda bulunmuştur (Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

Yapısal Eşitlik Modellemesi, genetik araştırmacı biyolog Sewall Wright'ın 1918-1921 yıllarındaki bir dizi çalışması sonucunda yol analizi (path analysis) olarak ortaya çıkmış ve ilk kez 1928 yılında Burks tarafından psikoloji alanında kullanılmıştır (Taşkın ve Akat, 2010; Anıl ve Güzeller, 2011). Yol analizi, teorik olarak Sewall Wright tarafından yol diyagramı ile görsellik kazandırılarak literatüre sunulmuştur (Wright, 1934; Anıl ve Güzeller, 2011). Yol analizi, ilk olarak Duncan (1966) tarafından sosyal bilimler çalışmalarında kullanılmıştır. SEM'de yol analizi yönteminin sosyal bilimler ve ekonomi alanında oldukça yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir (Cha ve ark., 2017).

Yapısal eşitlik modelleri, gözlenen ve gizil değişkenleri oluşturmasından dolayı yol analizi ve doğrulayıcı faktör analizini yapısında bulundurmaktadır. SEM ilk olarak Jöreskog (1973), Keesling (1973) ve Wiley (1973) araştırmaları ve çalışmalarından elde edilen bulgulardan dolayı JKW modeli olarak anılmaktaydı. Günümüzde ise Jöreskog ve Thille'nin 1973 yılında oluşturduğu LISREL (lineer doğrusal ilişkiler modeli) yazılımı aracılığıyla yapısal eşitlik modellemesi (SEM) için başlangıç adımı atılmıştır (Schumacker ve Lomax, 2004; Kaplan, 2008; Çelik, 2009; Meydan ve Şeşen, 2011). Jöreskog ve Sörbom (1979), yapısal eşitlik modelleme çerçevesini geliştirerek ortalama ve kovaryans yapılarını eşzamanlı olarak modelleme imkanı sağlayan güçlü yazılımlara katkıda bulunmuştur (Grimm ve ark., 2016).

Yapısal eşitlik modellemesi üzerine yapılan akademik araştırmalar sürmekte ve günümüzde oluşturulan paket programlar ya da yazılımlar aracılığıyla daha kolay bir şekilde uygulanmaktadır (Hershberger, 2003; Samioğlu, 2012). 1994-2001 yılları arasında SEM araştırmalarına olan ilginin oldukça üst düzeyde olduğu görülmektedir. 1994 yılından itibaren yayımlanan *Structural Equation Modelling* ve *Structural Equation Modelling: A Multidisciplinary Journal* isimli dergiler birçok SEM araştırmaları için kaynak barındırmaktadır. (Hershberger, 2003).

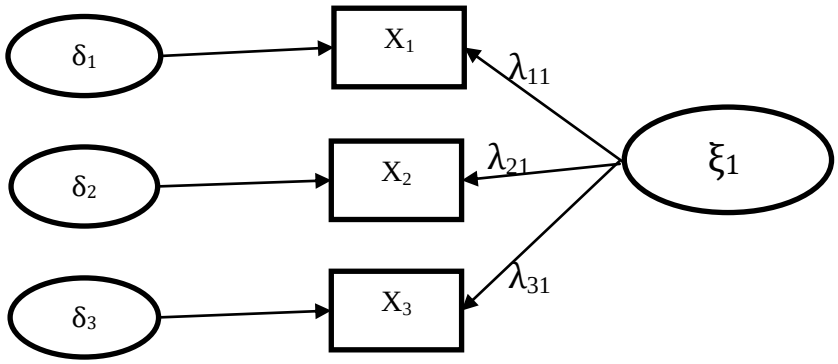
2.2. Temel Kavramlar

Yapısal eşitlik modellemesi (SEM), son yıllarda sosyal bilimler ve psikoloji alanlarında önemli ölçüde yaygınlaşarak uygulama yapılan bir analiz yaklaşımı olarak görülmektedir. SEM, gözlemlerin bağımsızlık varsayımı altında az sayıdaki parametre ile model açısından incelenen değişkenlerin ortalamalarını varyans-kovaryans yapılarını inceleyen çok değişkenli bir yöntemdir (Depaoli ve Clifton, 2015).

SEM'de, gözlenen ve gizil değişkenler, içsel ve dışsal değişkenler, aracı ve düzenleyici değişkenler ile doğrudan ve dolaylı etki kavramları yer almaktadır.

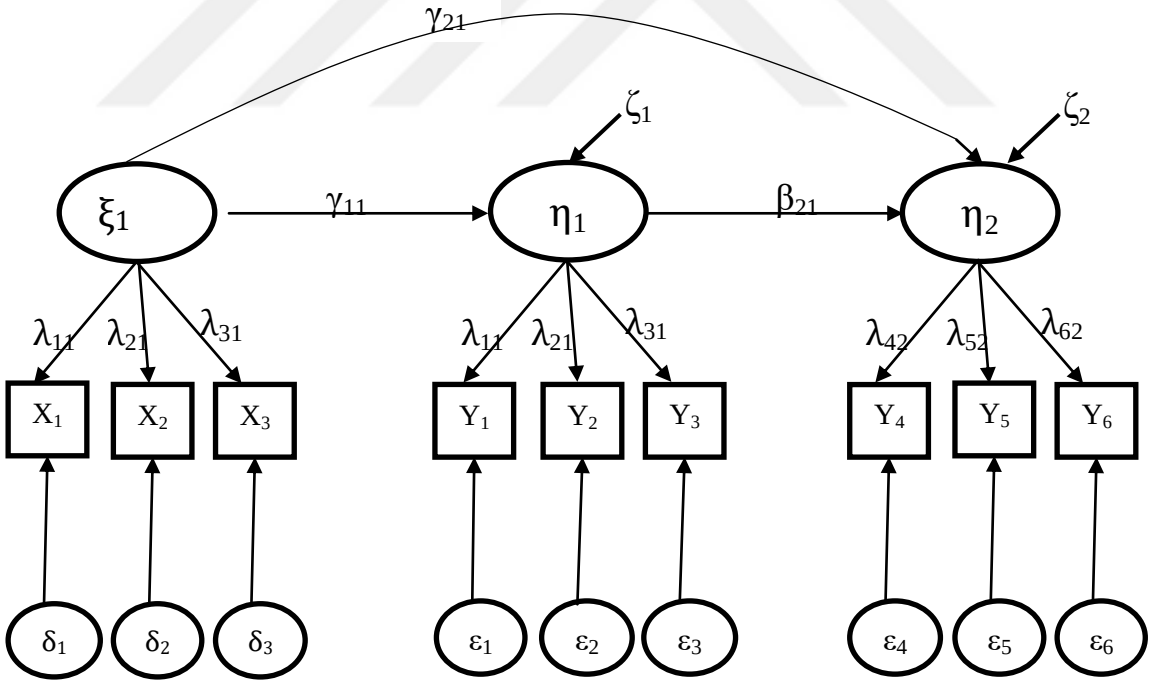
Yapısal eşitlik modelleri, *gözlenen* ve *gizil (örtük)* değişkenleri nedensellik üzerine ölçerek, *ölçüm* ve *yapısal* model olmak üzere iki kısımda inceleyen istatistiksel bir yöntemdir (Alkış, 2016; Sadia ve ark., 2017). Ölçüm modelinde, gözlenen ve gizil değişkenler arasındaki ilişki açıklanmaktadır (Knoke, 2003). Yapısal modelde ise, gizil değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkisi açıklanmaktadır (Schumacker ve Lomax, 2004; Çokluk ve ark., 2012). Çokluk ve ark. (2012), gizil değişkenlerin hata varyansını modellemeyi olanaklı kıldığını ve tanımlanmamış modelleri oluşturmada araştırmacılara yol gösterdiğini belirtmişlerdir.

Genel bir yapısal eşitlik modellemesi, ölçüm modelinden ve yapısal modelden oluşmaktadır. Ölçüm modeli için yol diyagramı Şekil 2.1'de, yapısal model için yol diyagramı ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Çokluk ve ark., 2012).



Şekil 2.1. Ölçüm modeli

Ölçüm modelini, gözlenen dışsal değişken X, gizil dışsal değişken ξ, gizil değişken ile gözlenen değişken arasındaki bağa ilişkin yapısal katsayı λ ve gözlenen dışsal değişkendeki ölçüm hatası δ oluşturmaktadır.



Şekil 2.2. Yapısal model

Yapısal model, gözlenen dışsal değişken (X), gözlenen içsel değişken (Y), gizil dışsal değişken (ξ), gizil içsel değişken (η), gizil değişken ve gözlenen değişken arasındaki ilişkiyi gösteren yapısal katsayı (λ), gözlenen dışsal değişkendeki ölçüm hatası (δ), gözlenen içsel değişkendeki ölçüm hatası (ε), gizil içsel değişkenle ilişkili

hata terimi (ζ), dışsal bir değişkenden içsel bir değişkene olan yapısal etki (γ), içsel bir değişkenin diğer bir içsel değişkene olan yapısal etkisi (β)'nden oluşmaktadır.

Yapısal eşitlik modellerinde, modeldeki yapıyı *dışsal (bağımsız)* değişken ve *içsel (bağımlı)* değişken oluşturmaktadır (Knoke, 2003; Anıl ve Güzeller, 2011). SEM'de, bir değişken birçok değişken için bağımlı değişken iken aynı zamanda farklı değişkenler için bağımsız değişken olabilmektedir (Schumacker ve Lomax, 2004; Meydan ve Şeşen, 2011).

Herhangi iki değişken arasındaki etkileşimi sağlamakla görevli değişken *aracı değişken (mediatör variable)*, bağımlı ve bağımsız değişkenin arasındaki ilişkiyi betimleyen değişken ise *düzenleyici değişken (moderatör variable*) olarak adlandırılır (Kaya, 2014).

Bağımlı ve bağımsız değişkenler üzerindeki etkileşimi doğrudan açıklayan etkiye *doğrudan etki (direct effect)*, bağımsız değişkeninin bağımlı değişkeni bir başka bağımsız değişken üzerinden açıkladığı etkiye ise *dolaylı etki (indirect effect)* adı verilmektedir (Schumacker ve Lomax, 2004; Çokluk ve ark., 2012; Kaya, 2014). SEM analizi ile yapılan tahminlemenin kolaylaştırıcı bir avantajı, doğrudan ve dolaylı etkileri ayırt edebilme özelliğine sahip olmasıdır (Cha ve ark., 2017).

Yapısal eşitlik modellemesinde geleneksel yaklaşım, sırasıyla, kuram, model belirleme, örneklem ve ölçüm, tahminleme, model modifikasyonu ve uyumun değerlendirilmesi yani yapının yorumlanmasını sağlamak şeklindedir.

Yapısal eşitlik modellemesinde, ölçülen veya gizil faktörler arasındaki birden fazla nedensel ilişkinin yol izini göstermek ve bir veya daha fazla sonuç değişkenine karşı göreli etkilerini tahmin etmek mümkün olmaktadır (Belvederi Murri ve ark., 2017). Yapısal eşitlik modellemesinde, karmaşık verilere ait kurulan modelde değişkenlere ait ilişkiler söz konusu olduğundan, grafiksel gösterimler SEM için standart bir araç haline gelmiştir (Sadia ve ark., 2017).

2.3. Yapısal Eşitlik Modellemesinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Yapısal eşitlik modellemesinde tüm istatistiksel analizlerde olduğu gibi dikkat edilmesi gereken bazı ölçütler vardır. Bu ölçütler;

- Gözlenen değişkenler (ya da veriler) sürekli ve çok değişkenli normal dağılım göstermeli,
- Her bir faktör için minimum üç gözlenen değişken olması koşuluyla teorik çerçeveler için çoklu ölçümler yapılmalı,

- Örneklem büyüklüğü her parametre için en az 15, gizil değişkenin olması durumunda en az 100 ve daha iyi sonuç vermesi için en az 200 olmalı,
- Gözlenen değişkenler ile gizil değişkenler arasında doğrusal ilişki olmalı ve gizil değişkenler de kendi aralarında doğrusal bir ilişkiye sahip olmalı,
- Eksik veri sorunun giderilmesi modelin sonucunu etkileyeceğinden bu sorun çözülmeli,
- Model yorumlanırken "model kabul edildi" yerine "model reddedilemedi" ifadesi kullanılmalı,
- Her bir değişken için kovaryans yapıları bağımsız olmalıdır (Boomsma, 2000; Schumacker ve Lomax, 2004; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008; Shimizu ve Kano, 2008; Yuan ve Chan, 2008; Foss ve ark., 2011).

Bu hususlar kısaca,

- Çok değişkenli normallik,
- Doğrusallık,
- Örneklem büyüklüğü,
- Ölçek türü

olmak üzere dört başlık altında ifade edilebilir (Yılmaz, 2015).

Kline (2012)'ın yaptığı çalışmada, ideal örneklem büyüklüğü ile parametre oranının 20:1 olduğu, daha az ideal olan oranın ise 10:1 olduğu ifade edilmiştir.

2.4. Uygulama Adımları

Yapısal eşitlik modellerinde, yapısal bir modelin oluşturulması için doğrulayıcı modelleme, alternatif modeller ve model geliştirme stratejisi olmak üzere üç temel strateji izlenmektedir. *Doğrulayıcı modelleme stratejisi*, oluşturulan modelin veri kümesi tarafından doğru olup olmadığını, *alternatif modeller stratejisi*, birden çok değişkenin ilişkisinin açıklanmasında alternatif olarak kurulan modellerin hangisinin veri kümesi tarafından desteklendiğini, *model geliştirme stratejisi* ise model uyumunun değerlendirildiği ve analiz sonucunda model üzerindeki iyileştirmenin test edildiği strateji olarak belirtilmektedir (Meydan ve Şeşen, 2011).

SEM' de dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri, araştırılan konu için yapılacak olan analizlerde uygulama aşamalarının veya sıralamasının doğru bir şekilde gerçekleştirilmesidir. SEM' de kullanılan beş temel uygulama adımı şu şekildedir:

Adım 1. *Modelin Çizilmesi (Model Kurma Aşaması):* Bu adımda, varsayımlar üzerine kurulan teorik model belirlenmekte ve yol diyagramları ile kurulmaktadır. Gizil değişkenlerle ölçüm modelinin oluşturulduğu ve değişkenler arasındaki ilişkinin incelendiği, doğrulayıcı faktör analizi yardımıyla test edildiği önemli teorik bir adımdır. Gözlenen ve gizil değişkenlerin, içsel ve dışsal değişkenler aracılığıyla yapısal modelin oluşturulduğu ilk adımdır (Hoyle, 1995; Reisinger ve Turner, 1999; Skrondal ve Rabe-Hesketh, 2004; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Alkış, 2016).

Adım 2. *Modelin Belirlenmesi/ Tanımlanması:* Bu adım model kurma aşaması adımı ile birkaç teknik dışında eş değer olarak görülmektedir. Model belirlemede kurulan matrisler parametreler hakkında bilgi verdiğinden çözülebilir olduğuna dikkat edilmelidir. Model yapısının belirlenmesinde, "belirlenme" her bir parametre için bulunan çözümün tek olması anlamına gelmektedir. Her bir parametre için tek bir çözüm var ise "tam belirlenebilir", sonsuz sayıda parametre kestirimi var ise "az belirlenebilir", birden çok parametre kestirimi var ise "aşırı belirlenebilir" model olarak tanımlanmaktadır. Eğer n gözlenen değişken sayısı t bilinmeyen parametre sayısı olmak üzere $S = \frac{n \times (n+1)}{2}$ tane modelde yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu ve t<S durumunda serbestlik derecesi >0 olacağından model "aşırı belirlenmiş model" olmaktadır. Az ya da tam belirlenmiş modeller ile çalışmak imkânsızdır. Model; bilinmeyen parametrelerin, varyans veya kovaryans olarak ifade edilmesi ile tanımlanmaktadır (Hoyle, 1995; Reisinger ve Turner, 1999; Skrondal ve Rabe-Hesketh, 2004; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Alkış, 2016).

Adım 3. *Model Analizi/ Tahminleme:* Bu adımda, toplanan verilerle oluşturulan modeldeki gözlenen değişkenlere ait parametre değerleri tahmin edilmektedir. Genel olarak LISREL, AMOS, EQS, Mplus vb. gibi programlar kullanılarak elde edilen model uyumu değerleri üzerinden analiz sonuçları belirlenmektedir. Model açıklanırken en az dört model uyumu indeksinden yararlanılmaktadır. Model analizinde en küçük kareler, en çok olabilirlik, genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi gibi çeşitli yöntemler kullanılarak parametre tahmini yapılmaktadır (Hoyle, 1995; Reisinger ve Turner, 1999; Skrondal ve Rabe-Hesketh, 2004; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Alkış, 2016).

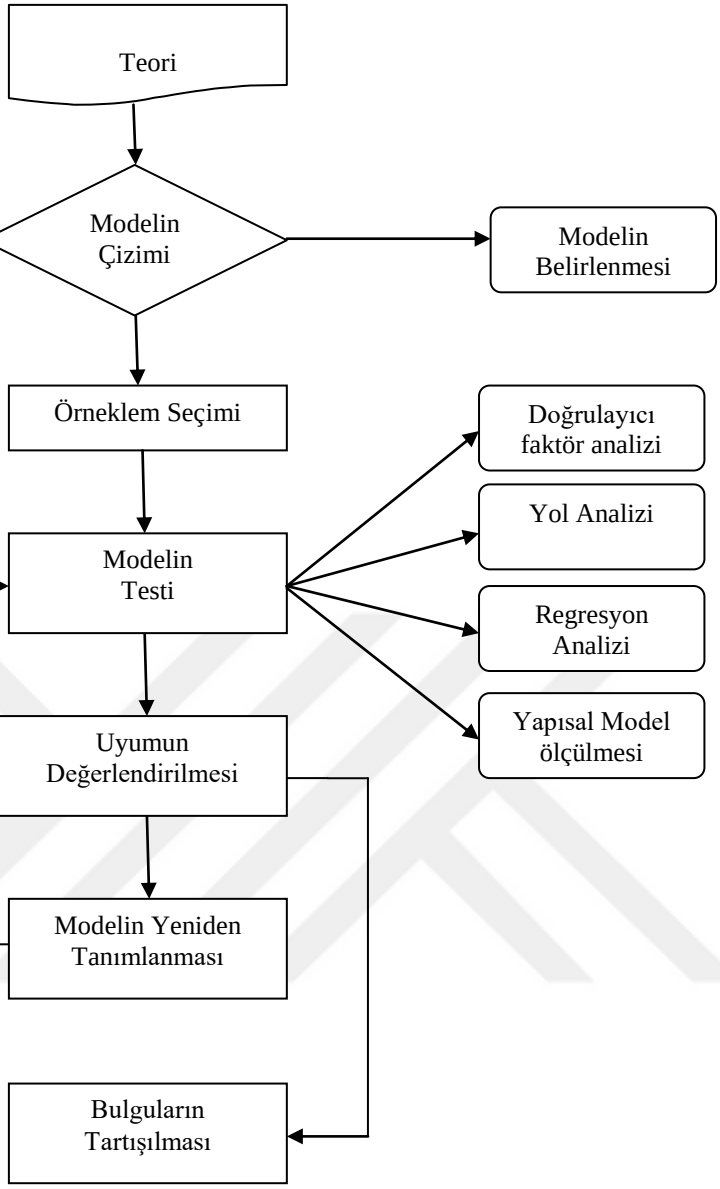
Adım 4. *Model Uyumunun Değerlendirilmesi:* Bu adımda, teorik model belirlendikten sonra uyum iyiliği indeksleri ile verilerin modeli ne kadar iyi açıklayıp açıklamadığı incelenmektedir. Uyum iyiliği indeksleri ile, model içindeki katsayı veya parametreler yorumlanarak modelin kabul edilip edilmeyeceğine karar verilmektedir. Uyum iyiliği indeksleri, bilgi teorisi üzerine kurulu uyum iyiliği indeksleri, gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı fakat sınırlandırmamayı dengeleyici uyum iyiliği indeksleri, incelenen model ile alternatif modelin karşılaştırılmasına dayalı uyum iyiliği indeksleri, gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı uyum iyiliği indeksleri şeklinde olmak üzere sınıflandırılabilmektedir (Hoyle, 1995; Reisinger ve Turner, 1999; Skrondal ve Rabe-Hesketh, 2004; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Alkış, 2016).

a) *Gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı uyum iyiliği indeksleri;* ki-kare indeksi, göreceli ki-kare indeksi, Satorra-Bentler ölçekli ki-kare, uyum iyiliği indeksi (GFI), düzenlenmiş uyum iyiliği indeksi (AGFI) ve artık kareler ortalamasının karekökü (RMS, standardize edilmiş RMSR veya RMR) ile belirtilmektedir.
b) *İncelenen model ile alternatif modelin karşılaştırmasına dayalı uyum iyiliği indeksleri;* karşılaştırmalı uyum indeksi (CFI), artımlı uyum indeksi (IFI), Bentler Bonett indeksi veya normlaştırılmış uyum indeksi (NFI), Tucker Lewis indeksi veya normlaştırılmamış uyum indeksi (NNFI), Bolen86 uyum indeksi (Bolen86 Fit Index) ve göreceli uyum indeksi (RFI) ile belirtilmektedir.
c) *Gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı fakat parametre sınırlandırmamayı dengeleyici uyum iyiliği indeksleri;* Parsimony oranı (PRATIO), Parsimony indeksi (Parsimony Index), Parsimony uyum iyiliği indeksi (PGFI), Parsimony normlaştırılmış uyum indeksi (PNFI), Parsimony karşılaştırmalı uyum indeksi (PCFI), yaklaşık hata kareler ortalamasının karekökü (RMSEA) ve P yakın uyumu (P Of Close Fit) ile belirtilmektedir.
d) *Bilgi teorisi üzerine kurulu uyum iyiliği indeksleri;* Akaike bilgi kriteri (AIC), beklenen çapraz doğrulama indeksi (ECVI), Browne-Cudeck kriteri (BCC), Mcdonald merkezileştirilmemiş parametre indeksi (MCI), tutarlı akaike bilgi kriteri (CAIC), Bayesci bilgi kriteri (BIC), etkileşim etki boyutu (IES) ve Hoelter'ın kritik N değeri ile belirtilmektedir.

Adım 5. *Modelin Yeniden Tanımlanması/ Değiştirilmesi:* Bu adımda, başlangıçta kurulan teorik model, model uyum değerlendirme yorumlarına veya sonuçlarına bağlı olarak "kabul edilemez model" durumunda tekrar kurulmaktadır. Yani birinci adıma geri dönülmekte ve anlamsız ilişkiler çıkartılarak model yeniden tanımlanmaktadır. Daha sonra model uyum değerlendirmesi adımından devam edilmektedir (Hoyle, 1995; Reisinger ve Turner, 1999; Skrondal ve Rabe-Hesketh, 2004; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Alkış, 2016).

SEM analizinde uygulama adımlarının sırasıyla uygulanması, varılacak sonucun doğruluğunu arttırmaktadır (Reisinger ve Turner, 1999).

Yapısal eşitlik modeli oluşturmada kullanılan adımlar ve analiz yöntemleri Şekil 2.3'te bir akış diyagramı ile gösterilmiştir (Meydan ve Şeşen, 2011).



Şekil 2.3. Yapısal eşitlik modellemesi uygulama adımları

2.5. Teorik Yapı

Yapısal eşitlik modellemesi, daha çok sosyal ve davranış bilimlerinde görülen gizil faktörler ile temsil edilmektedir. Yapısal eşitlik modellemesi, faktör analizi, regresyon ve yol analizi bileşimlerinden oluşan bir yapıdır. Kurulan modelde yer alan değişkenler arasındaki ilişkiler, bu analizlerden belirlenen katsayılar ile gösterilmektedir (Hox ve Bechger, 2007).

SEM, Karl Jöreskog tarafından geliştirilen LInear Structural RELations (LISREL) programı aracılığıyla basit şekilde analiz edilebilmektedir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Hox ve Bechger, 2007; İlhan ve Çetin, 2014).

Eş zamanlı kovaryans ölçümü ile ilgilenen yapısal model, gizil faktörler arasındaki ilişkileri özetleyerek yapısal eşitlik modelini oluşturmaktadır (Yılmaz, 2015).

Yapısal eşitlik modellemesinde gizil değişkenler için Jöreskog (1977) tarafından verilen LISREL yapısal eşitlik modeli,

$$\eta = \mathrm{B} \times \eta + \Gamma \times \xi + \zeta \quad (2.1)$$

$$y = \Lambda \times \eta + \varepsilon \quad (2.2)$$

$$x = \Lambda \times \xi + \delta \quad (2.3)$$

eşitlikleri ile tanımlanır. Eşitlik (2.1)'de,

η: (mx1) boyutlu gizil içsel değişken vektörünü,

B (β_{ij}): (mxm) boyutlu katsayı matrisini,

Γ (Υ_{ij}): (mxn) boyutlu katsayı matrisini,

ζ (ζ_{ij}): (mx1) boyutlu gizil hata gösteren vektörünü,

ξ: (nx1) boyutlu gizil dışsal değişken vektörünü göstermektedir.

Gizil bir içsel değişkenin başka bir gizil içsel değişken üzerinde etkisinin olmaması için β_{ij}'de herhangi bir sıfır değeri yer almalıdır. (Kaplan ve Elliott, 1997; Skrondal ve Rabe-Hesketh, 2004; Li ve ark., 2012; Song ve Lee, 2012; Yılmaz, 2015; Zhang ve ark., 2016; Nagase ve Kano, 2017).

SEM'de ölçüm modelleri: Eşitlik (2.2)'de verilen içsel değişken (*y*) ve Eşitlik (2.3)'te verilen dışsal değişken (*x*)'dir. Bunlar, gözlenen ve gizil değişkenler arasındaki bağlantıyı göstermektedir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006).

Eşitlik (2.2)'de,

y: (px1) boyutlu y_i elemanlı vektörü ve *y*'ler η'nın gözlenen göstergelerini,

η: (mx1) boyutlu gizil içsel değişkenler vektörünü,

Λ_y: (pxm) boyutlu *y*'nin η ilişkili katsayı matrisini,

ε: (px1) boyutlu ε_i elemanlı vektörü ve *y*'ye ait hatayı göstermektedir (Cziráky ve ark., 2006; Deniz ve ark., 2011; Yılmaz, 2015; Zhang ve ark., 2016).

Eşitlik (2.3)'te,

x: ξ'nin gözlenen göstergelerini,

ξ: (nx1) boyutlu gizil dışsal değişkenler vektörünü,

Λ_x: (qxn) boyutlu *x*'in ξ ilişkili katsayı matrisini,

δ: (qx1) boyutlu δ_i elemanlı vektörü ve *x*'e ait hatayı göstermektedir (Cziráky ve ark., 2006; Deniz ve ark., 2011; Yılmaz, 2015; Zhang ve ark., 2016).

Gizil dışsal değişkenlerin (nxn) boyutlu kovaryans matrisi $\Phi(\phi_{ij})$ ve (mxm) boyutlu kovaryans matrisi $\Psi(\psi_{ij})$ olarak gösterilmektedir. $\Psi(\psi_{ij})$'nin ana köşegenindeki elemanlar i. eşitliğin içerdiği açıklayıcı değişkenler tarafından açıklanamayan η_i değişkenine karşılık gelen varyansı göstermektedir (Yılmaz, 2015). Modelin içerdiği üç ayrı kovaryans matrisi; gizil içsel değişkenlerin gözlenen göstergelerinin kovaryans matrisi, gizil içsel değişkenlerin göstergeleri ve gizil dışsal değişkenlerin göstergeleri arasındaki kovaryanslar ve gizil dışsal değişkenlerin göstergelerinin kovaryans matrisi olarak bilinmektedir. Bu üç matrisin düzenlenmesi ile oluşturulan ortak kovaryans matrisi,

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \Sigma_{yy} & \Sigma_{yx} \\ \Sigma_{xy} & \Sigma_{xx} \end{pmatrix} \tag{2.4}$$

olarak elde edilmektedir (Knoke, 2003; Cziráky ve ark., 2006; Eboli ve Mazzulla, 2012; Zhang ve ark., 2016).

Jöreskog (1977), LISREL yapısal eşitlik modeli gösterimini kullanarak ikinci moment matrislerini $E[\xi\xi']\equiv\Phi$, $E[\zeta\zeta']\equiv\Psi$, $E[\varepsilon\varepsilon']\equiv\Theta_\varepsilon$, $E[\delta\delta']\equiv\Theta_\delta$ ve $E[\varepsilon\delta']\equiv\Theta_{\varepsilon\delta}$ olarak ifade etmiştir. Model parametreleri için elde edilen tahmini kovaryans matrisi ise,

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \Lambda_y(I-B)^{-1}(\Gamma\Phi\Gamma'+\Psi)[(I-B)^{-1}]'\Lambda_y' + \Theta_\varepsilon & \Lambda_y(I-B)^{-1}\Gamma\Phi\Lambda_x' + \Theta_{\delta\varepsilon}' \\ \Lambda_x\Phi\Gamma'[(I-B)^{-1}]'\Lambda_y' + \Theta_{\varepsilon\delta} & \Lambda_x\Phi\Lambda_x' + \Theta_\delta \end{pmatrix} \tag{2.5}$$

olarak gösterilmektedir (Cziráky ve ark., 2006; Yılmaz, 2015; Zhang ve ark., 2016).

LISREL yapısal eşitlik modeline ilişkin varsayımlar, E(η)=0; E(ξ)=0; E(ε)=0; E(δ)=0 olarak ifade edilmektedir. LISREL modeli tanımlandığında, model parametrelerinin en çok olabilirlik tahminleri, çok değişkenli Gauss log-olabilirlik fonksiyonunun minimum yapılmasıyla,

$$F = \ln|\Sigma| + \mathrm{tr}(S\Sigma^{-1}) - \ln|S| - (p+q) \tag{2.6}$$

olarak ifade edilmektedir.

Eşitlik (2.6)'da, p ve q sırasıyla gizil içsel ve gizil dışsal değişkenlerin gözlenen göstergelerinin sayısını, $|\Sigma|$ ve $|S|$ her bir matrisin determinantını ve "tr" matrisin köşegen elemanlarının toplamı olan "iz'i" göstermektedir (Knoke, 2003).

Lawley ve Maxwell (1971) ve Jöreskog (1996), kullandıkları ayrıştırma yaklaşımı ile gizil değişken faktörlerini Eşitlik (2.2) ve Eşitlik (2.3)'te verilen yapıya benzer şekilde,

$$\begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Lambda_y & 0 \\ 0 & \Lambda_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta \\ \xi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon \\ \delta \end{pmatrix} \tag{2.7}$$

ifade etmişler ve;

$$\Lambda \equiv \begin{pmatrix} \Lambda_y & 0 \\ 0 & \Lambda_x \end{pmatrix},\ \xi_a \equiv \begin{pmatrix} \eta \\ \xi \end{pmatrix},\ \delta_a \equiv \begin{pmatrix} \varepsilon \\ \delta \end{pmatrix},\ x_a \equiv \begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix} \tag{2.8}$$

Eşitlik (2.8)'de verilen gösterimler yardımıyla,

$$\xi_a = UD^{1/2}VL^{-1/2}V'D^{1/2}U'\Lambda'\Theta_a^{-1}x_a \tag{2.9}$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır (Cziráky ve ark., 2006; Lee ve Song, 2010).

Eşitlik (2.9)'da,

UDU': $\Phi_a \equiv E[\xi_a \xi'_a]$ için tekil değer ayrışımını,

VLV': $\mathbf{D^{1/2}UTBUD^{1/2}}$ için tekil değer ayrışımını,

Θ_a: gözlenen değişkenlerin hata kovaryans matrisini göstermektedir.

Gizil faktörler (ξ_{ai}), (p+q)×n boyutlu veri matrisindeki her bir x_{ij} için hesaplanabilmekte ve n=(q+p) örneklem büyüklüğü olarak ifade edilmektedir (Skrondal ve Rabe-Hesketh, 2004; Cziráky ve ark., 2006).

2.6. Uyum İstatistikleri

Yapısal eşitlik modellerinde, değerlendirmeye alınan modelin kullanılan veriler tarafından ne kadar uygun olup olmadığını belirlemek için uyum istatistikleri kullanılmaktadır (Hoyle, 1995; Meydan ve Şeşen, 2011). Yapısal eşitlik modellemesinde kullanılan ve model uyum değerlendirme işlemini gerçekleştiren uyum

istatistikleri son derece önemlidir. Uyum istatistikleri, katsayı sonuçlarına göre modelin kabul edilebilir veya kabul edilemez olduğunu tespit etmektedir. Bazı uyum indekslerinin kullanımı araştırmanın amacına göre değişmektedir. En çok başvurulan uyum indeksleri şu şekilde verilir:

- *Genel model uyumu:* Ki-kare (χ^2) uyum istatistiği ve ki-kare serbestlik derecesi (χ^2/ sd) ile,
- *Karşılaştırmalı uyum indeksleri:* Normlaştırılmış uyum indeksi (NFI), normlaştırılmamış uyum indeksi (NNFI), artımlı uyum indeksi (IFI), karşılaştırmalı uyum indeksi (CFI) ve yaklaşık hata kareler ortalamasının karekökü (RMSEA) ile,
- *Mutlak uyum indeksleri:* Uyum iyiliği indeksi (GFI) ve düzenlenmiş uyum iyiliği indeksi (AGFI) ile,
- *Koruyucu uyum indeksleri:* Parsimony normlaştırılmış uyum indeksi (PNFI) ve Parsimony uyum iyiliği indeksi (PGFI) ile,
- *Artık temelli uyum indeksi:* Artık kareler ortalamasının karekökü (RMR) ile,
- *Model karşılaştırma uyum indeksleri:* Akaike bilgi kriteri (AIC), Bayesci bilgi kriteri (BIC), tutarlı akaike bilgi kriteri (CAIC) ve beklenen çapraz doğrulama indeksi (ECVI) ile ölçülür (McQuitty, 2004; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

Uyum indeksleri, verilerin kurulan modele ne kadar uyum gösterdiğine ilişkin genel bir inceleme sağlamaktadır. Birçok araştırmada, araştırmacılar genel olarak kendi belirledikleri uyum ölçütlerine göre hareket etmektedirler. Ancak araştırmalarda tek bir uyum indeksi ile karar verilmemelidir.

Model uyumunun değerlendirilmesinde kullanılan indeksler, sürekli ve kategorik verilere göre farklılıklar gösterebilmektedir. Model için genel uyuma sadece tek bir uyum indeksi kullanılarak değil, birden çok indeks kullanılarak karar vermek oldukça önemlidir (Kaplan, 2008; Camgoz-Akdag ve Zaim, 2012; Çınar, 2013).

Tseng, Dörnyei ve Schmitt (2006), SEM ve yol analizi gibi nedensel modellerde bazı indekslerin modele uymamasının normal olduğunu ve genel olarak önerilen modelin deneysel verilerle orta derecede iyi uyum sağladığı sonucuna varılabileceğini belirtmişlerdir (Ghanizadeh ve Jahedizadeh, 2016).

Model uyumu için istatistiksel testler, iki varyans-kovaryans matrisinin karşılaştırılmasını içerir. Bunlar;

- Örneklem verilerindeki K deneysel göstergeler arasındaki kovaryansların gözlenen matrisi (S),
- Modelin tahmini parametreleri θ'dan hesaplanan aynı K göstergeleri arasındaki kovaryansların matrisi (Σ(θ)) olarak bilinmektedir (Knoke, 2003).

Eşitlik (2.6)'da verilen Gauss log-olabilirlik fonksiyonu, gözlenen ve tahmin edilen matrisler arasındaki tutarsızlıkları içermektedir. Gauss log-olabilirlik fonksiyonu, her zaman negatif olmayan ve yalnızca mükemmel uyum sağlandığında sıfıra eşit olan bir fonksiyondur (S-Σ=0). F[S, Σ(θ)] uyum fonksiyonunu (N-1) ile çarpmak $d = \frac{k \times (k+1)}{2} - t$ serbestlik dereceli χ^2 dağılımına sahip test istatistiğini vermektedir. t, tahmini parametrelerin sayısıdır. Minimum Gauss log-olabilirlik fonksiyonu için χ^2 test istatistiği, örneklem büyüklüğü ile doğru orantılı olarak arttığı için düşük χ^2 değerlerinin elde edilmesinde büyük zorluklar ortaya çıkmaktadır (Knoke, 2003; Barrett, 2007).

SEM için geliştirilen bilgisayar programlarında, model uyumunun değerlendirilmesi için birçok uyum istatistiği indeksi mevcuttur. Bu indeksler, 0-1 aralığında değişmekte ve daha yüksek değerler daha iyi uyumu göstermektedir. χ^2 gibi bazı uyum indeksleri örneklem büyüklüğünün bir fonksiyonudur. Diğer tüm uyum indeksleri serbestlik derecesine göre değişebilmektedir. Örneğin, yaklaşık hataların ortalama karekökü (RMSEA), her bir serbestlik derecesi için gözlenen ve tahmin edilen parametreler arasındaki hataları ölçmektedir (Knoke, 2003; Schreiber, 2008).

Çizelge 2.1'de, gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı uyum indeksleri verilmektedir.

Çizelge 2.1. Gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı uyum indeksleri

Uyum İndeks	Kısaltma	Sürekli Veriler için Kriter	Kategorik Veriler	Sivo ve ark. (2006) göre*
Ki-Kare İndeksi	χ^2	p>0.05(İstatistiksel olarak anlamlı olmaması.)	-	-
Göreceli Ki-Kare İndeksi	χ^2/sd	Küçük örneklemlerde ≤2.5, büyük örneklemlerde ≤3 ise iyi uyum, ≤5 ise kabul edilebilir uyum	-	-
Satorra-Bentler Ölçekli Ki-Kare	χ^2	Veriler normal dağılmadığı zaman kullanılır.	-	-
Uyum İyiliği İndeksi	GFI	≥0.90 ise iyi uyum, 0.85-0.89 ise kabul edilebilir uyum	-	0.96
Düzenlenmiş Uyum İyiliği İndeksi	AGFI	≥0.90 ise iyi uyum, 0.85-0.89 ise kabul edilebilir uyum	-	0.95
Artık Kareler Ortalamasının Karekökü	RMR / SRMR	≤0.05 ise iyi uyum, 0.06-0.08 ise kabul edilebilir uyum	-	0.11 / 0.07

*: Sivo ve ark. (2006) uyum değerleri; 500 örneklem büyüklüğüne dayanmakta ve herhangi bir doğru modeli reddetmeden en uygun indeks değerini göstermektedir.

Çizelge 2.1'de verilen uyum indeksleri aşağıda açıklanmıştır.

Ki-kare İstatistiği χ^2: SEM'de en çok kullanılan ve kabul gören istatistiksel testtir. Modelde ki-kare uyum indeksi bazı durumlarda kusurlu olabilmektedir. Çünkü, χ^2 değerinin p=0.05 kritik değerden büyük olması analizin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ve verilerin modele uyumu kötüleştirdiğini göstermektedir. Yani ki-kare istatistiğinin örneklem boyutundan etkilenebilmektedir (Schreiber, 2008). Ayrıca, örneklem boyutunun 200'den küçük olması durumunda ki-kare değeri küçülmekte ve model uyumu artmaktadır (Çokluk ve ark., 2012).

Ki-kare istatistiği, modelin karmaşıklığının ki-kare değerini uygun çıkarması, örneklem büyüklüğünden etkilenmesi ve normallik varsayımı ihlaline karşı aşırı duyarlı olmasından dolayı tek başına modelin reddi veya kabulü için kullanılmamaktadır (Knoke, 2003; Ayyıldız ve Cengiz, 2006).

Hoyle (1995), eğer araştırılan model ile kullanılan veri arasında mükemmel derecede uyum varsa elde edilen değerin sıfıra 0'a yakın olması ve p anlamlılık değerinin anlamlı olmaması gerektiğini belirtmiştir. Bundan dolayı, ki-kare testine "kötülük uyum testi" de denilmektedir (Çokluk ve ark., 2012).

Ki-kare χ^2 testi bir hipotez testi olduğundan, sıfır hipotezi ve alternatif hipotez,

H_0: Gözlenen ve beklenen varyans-kovaryans matrisleri arasında fark yoktur. (İstatistiksel olarak anlamsızdır.)

H_1: Gözlenen ve beklenen varyans-kovaryans matrisleri arasında fark vardır. (İstatistiksel olarak anlamlıdır.)

biçiminde kurulmaktadır (Çokluk ve ark., 2012).

Analiz sonucunda, $p>0.05$ olması durumunda H_0 kabul edilecek ve çalışmanın istatistiksel olarak anlamsız olacaktır. Kurulan model için kabul edilebilir ya da iyi uyuma sahip olması durumu geçerli olacaktır (Hoyle, 1995; Knoke, 2003; Çokluk ve ark., 2012). Yani modelin tanımladığı kovaryans ile gözlenen örneklem kovaryansı arasındaki tutarsızlık, dağılımın beklenen değerinden daha büyük ise model reddedilir ve "uyumlu değil" olarak yorumlanır (Barrett, 2007).

Göreceli Ki-kare İndeksi $\chi^2_{/sd}$: Serbestlik derecesinin ki-kare değerine oranı ile belirlenen bu uyum indeksi büyük örneklemler için de kullanılabilmektedir. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için küçük örneklemlerde ≤ 2.5, büyük örneklemlerde ≤ 3, kabul edilebilir uyum için ≤ 5 olması gerekmektedir (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

Satorra-Bentler Ölçekli Ki-kare χ^2: Büyük örneklemlerde normalliğin sağlanamadığı koşullarda kullanılmaktadır. Örneklem boyutunun az olduğu ve dağılımın normal olması koşullarında Satorra-Bentler ölçeği ki-kare değerine yakın değerler üretmektedir (Hoyle, 1995; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

Uyum İyiliği İndeksi (GFI) ve Düzenlenmiş Uyum İyiliği İndeksi (AGFI): Jöreskog ve Sörbom (1984) tarafından geliştirilerek literatüre sunulan uyum iyiliği indeksi (GFI) ve düzenlenmiş uyum iyiliği indeksi (AGFI) ölçüt değeri 0-1 arasında değişmektedir. Uyum iyiliği indeksi, belirlenen modelin gözlenen değişkenler arasındaki (ya da örneklemdeki) kovaryans matrisini ölçmektedir. Yani modelin ölçtüğü örneklem varyansını ifade etmektedir. Aynı zamanda, regresyon analizindeki R^2 değerine benzemekte olup, tek farkı GFI'nin gözlenen kovaryans yüzdesiyle ilgili olmasıdır. Düzenlenmiş uyum iyiliği indeksi, parametre sayısını ve örneklem büyüklüğünü dikkate alarak serbestlik derecesi üzerindeki düzeltmeye dayanmaktadır (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Barrett, 2007; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

En çok olabilirlik yöntemleri için, Hoyle (1995) ve Jöreskog ve Sörbom (1984) tarafından önerilen mutlak uyum indeksi,

$$GFI_{ML} = 1 - [tr(\hat{\Sigma}^{-1}S - I)^2 / tr(\hat{\Sigma}^{-1}S)^2) \quad (2.10)$$

eşitliği ile verilmiştir. Ayrıca, ek parametrelerin eklenmesi için GFI fonksiyonunu içerecek şekilde,

$$\text{AGFI}_{ML} = 1 - [p(p+1)/2sd](1 - GFI_{ML}) \quad (2.11)$$

eşitliğinde verilen düzeltilmiş uyum indeksini geliştirmişlerdir (Hoyle, 1995).

Eşitlik (2.10) ve Eşitlik (2.11)'de verilen $\hat{\Sigma}$ ve S eşit olduğunda ($S=\hat{\Sigma}$), GFI_{ML} ve $AGFI_{ML}$ değerleri en çok 1 değerine sahip olmaktadır. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≤ 0.90, kabul edilebilir uyum için 0.85-0.89 arasında olması gerekir (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

Artık Kareler Ortalamasının Karekökü (RMR, SRMR): Kitleye ait tahmini kovaryans matrisi ile örnekleme ait kovaryans matrisleri arasındaki artık kovaryans ortalamalarını gösteren indekstir. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken iyi uyum için ≤ 0.05, kabul edilebilir uyum için 0.06-0.08 arasında olması gerekir. Bu değer 0'a yaklaştıkça test edilen model iyi uyum göstermektedir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

Çizelge 2.2'de, incelenen model ile alternatif modelin karşılaştırmasına dayalı uyum indeksleri verilmektedir.

Çizelge 2.2. İncelenen model ile alternatif modelin karşılaştırmasına dayalı uyum indeksleri

Uyum İndeks	Kısaltma	Sürekli Veriler için Kriter	Kategorik Veriler	Sivo ve ark. (2006) göre*
Karşılaştırmalı Uyum İndeksi	CFI	≥0.97 ise iyi uyum, ≥0.95 ise kabul edilebilir uyum	≥0.95	0.98
Artımlı Uyum İndeksi	IFI	≥0.95 ise iyi uyum, 0.90-0.94 ise kabul edilebilir uyum	-	0.98
Bentler Bonett İndeksi Veya Normlaştırılmış Uyum İndeksi	NFI	≥0.95 ise iyi uyum, 0.90-0.94 ise kabul edilebilir uyum	-	0.96
Tucker Lewis İndeksi Veya Normlaştırılmamış Uyum İndeksi	TLI / NNFI	≥0.95 ise iyi uyum, 0.90-0.94 ise kabul edilebilir uyum	≥0.96	-
Bollen86 Uyum İndeksi	BL86	≥0.90 ise iyi uyum	-	-
Göreceli Uyum İndeksi	RFI	≥0.95 ise iyi uyum, 0.90-0.94 ise kabul edilebilir uyum	-	-
Göreceli Merkezil Olmayan Uyum İndeksi	RNI	≥0.95 ise iyi uyum, 0.90-0.94 ise kabul edilebilir uyum	-	-

*: Sivo ve ark. (2006) uyum değerleri; 500 örneklem büyüklüğüne dayanmakta ve herhangi bir doğru modeli reddetmeden en uygun indeks değerini göstermektedir.

Çizelge 2.2'de verilen uyum indeksleri aşağıda açıklanmıştır.

Karşılaştırmalı Uyum İndeksi (CFI): Bentler (1990) tarafından önerilen Bentler'in Uyum İndeksi (BFI), ölçüm değerlerinin 0-1 dışına çıkmasından dolayı geliştirilmiş ve CFI önerilmiştir (Hoyle, 1995; Meydan ve Şeşen, 2011). Araştırmada kurulacak alternatif hipoteze ait model ile sıfır hipotezine ait model arasındaki ilişkiyi karşılaştırarak model uyumunu ya da yeterliliğini değerlendirmektedir (Hoyle, 1995; Çokluk ve ark., 2012). Model uyumu değerlendirmesi yapılırken iyi uyum için ≥ 0.97, kabul edilebilir uyum için ≥ 0.95 olması gerekir (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Çokluk ve ark., 2012; Marcoulides ve Schumacker, 2013).

BFI ve CFI indeksleri,

$$BFI = [(T_B - sd_B) - (T_T - sd_T)] / (T_B - sd_B) \quad (2.12)$$

$$CFI = 1 - \max[(T_T - sd_T), 0] / \max[(T_T - sd_T), (T_B - sd_B), 0] \quad (2.13)$$

eşitlikleri ile ifade edilmiştir. Eşitlik (2.12) ve Eşitlik (2.13)'te, hedef model "T_T", temel model "T_B" ve negatif olmayan istatistik "T" ile gösterilmiştir (Hoyle, 1995; Marcoulides ve Schumacker, 2013).

Artımlı Uyum İndeksi (IFI): McDonald ve Marsh (1990) tarafından önerilen ve Delta2 olarak da adlandırılan bu indeks, bazı durumlarda 1 değerini aşmaktadır. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≥ 0.95, kabul edilebilir uyum için 0.90-94 arasında olması gerekir (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Marcoulides ve Schumacker, 2013). Artımlı uyum indeksi ölçütü,

$$\text{IFI} = (\chi_b^2 - \chi_t^2) / (\chi_b^2 - sd_t) \qquad (2.14)$$

biçiminde ifade edilmektedir. Burada; χ_b^2; yokluk hipotezini (ya da temel modeli), χ_t^2; kurulan model (ya da hedef modeli) ve sd_t; temel modeldeki serbestlik derecesini göstermektedir (Marcoulides ve Schumacker, 2013).

Normlaştırılmış Uyum İndeksi veya Bentler Bonett İndeksi (NFI): Hoyle (1995), Bentler ve Bonett (1980) yaptıkları çalışmada negatif olmayan T istatistiğini kullanarak, temel model T_B ile hedef model T_T'nin yeterliliğini değerlendirmişlerdir. Delta1 olarak da adlandırılan NFI, temel bir model olarak sıfır hipotezine ait model kullanıldığında, hedef model tarafından açıklanan gözlenen değişkenler arasındaki toplam kovaryans oranını temsil etmektedir. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≥ 0.95, kabul edilebilir uyum için 0.90-94 arasında olması gerekir (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008; Marcoulides ve Schumacker, 2013). Normlaştırılmış uyum indeksi ölçütü,

$$\text{NFI} = (\chi_b^2 - \chi_t^2) / \chi_b^2 \qquad (2.15)$$

ya da

$$\text{NFI} = (\text{T}_B - \text{T}_T) / \text{T}_B \qquad (2.16)$$

olarak ifade edilmektedir (Hoyle, 1995; Kaplan, 2008; Marcoulides ve Schumacker, 2013).

Tucker Lewis İndeksi veya Normlaştırılmamış Uyum İndeksi (TLI/ NNFI): TLI ve NNFI indeks değerleri de 0-1 aralığını aşabilmektedir. Hem TLI hem de NFI sıfır hipotezine dayalı bulgular elde etmektedir. NNFI olarak da adlandırılan TLI indeksi NFI'ya benzemektedir. NNFI, 0-1 arası değerleri aşabildiğinden normal olmayan RHO2 olarak da bilinmektedir. Ayrıca serbestlik derecesine duyarlı olarak uyum artış miktarı olarak yorumlanmaktadır. Ki-kare istatistik değerinin düşük çıkması NNFI oranının yüksek çıkacağını göstermektedir. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≥ 0.95, kabul edilebilir uyum için 0.90-94 arasında olması gerekir (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008; Marcoulides ve Schumacker, 2013). Tucker Lewis indeksi ölçütü,

$$TLI = [(\mathrm{T}_B / sd_B) - (T_T / sd_T)] / [(\mathrm{T}_B / sd_B) - 1] \quad (2.17)$$

olarak ifade edilmektedir (Hoyle, 1995; Kaplan, 2008; Marcoulides ve Schumacker, 2013).

Bollen86 Uyum İndeksi (BL86): Bollen (1986) tarafından geliştirilen BL86 indeksi ve NFI indeksinde paydadan serbestlik derecesini çıkartarak önerilen Bollen89 Uyum İndeksi (BL89)'nde model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≥ 0.95, kabul edilebilir uyum için 0.90-94 arasında olması gerekir. BL86 ve BL89 uyum indeksi ölçütleri,

$$\mathrm{BL}86 = [(\mathrm{T}_B / sd_B) - (T_T / sd_T)] / (\mathrm{T}_B / sd_B) \quad (2.18)$$

$$\mathrm{BL}89 = (\mathrm{T}_B - T_T) / (\mathrm{T}_B - sd_T) \quad (2.19)$$

eşitlikleri ile ifade edilmektedir (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006).

Göreceli Uyum İndeksi (RFI): RHO1 olarak da adlandırılan bu indeks 0-1 aralığında ölçümlenmektedir. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≥ 0.95, kabul edilebilir uyum için 0.90-94 arasında olması gerekir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Schreiber, 2008). Göreceli uyum indeksi ölçütü,

$$\mathrm{RFI} = [(\mathrm{T}_B / sd_B) - (T_T / sd_T)] / (\mathrm{T}_B / sd_B) \quad (2.20)$$

olarak ifade edilmektedir (Marcoulides ve Schumacker, 2013).

Göreceli Merkezileştirilmemiş Uyum İndeksi (RNI): Merkezileştirilmemiş parametre tahminlerinin serbestlik derecesi ile test istatistiği arasındaki fark alınarak belirlenen ve son derece yanlış yazılmış modeller için McDonald ve Marsh (1990) tarafından geliştirilen bu indeks 0-1 aralığında değer almaktadır. Bu değerleri aştığında, alternatifi olarak CFI kullanılmaktadır. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≥ 0.95, kabul edilebilir uyum için 0.90-94 arasında olması gerekir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008). Göreceli merkezileştirilmemiş uyum indeksi ölçütü,

$$\mathrm{RNI} = [(\mathrm{T}_B - sd_B) - (T_T - sd_T)] / (\mathrm{T}_B - sd_B) \qquad (2.21)$$

olarak ifade edilmektedir (Kaplan, 2008).

Çizelge 2.3'te, gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı fakat parametre sınırlandırmayı dengeleyici uyum indeksleri verilmektedir.

Çizelge 2.3. Gözlenen ve tahmin edilen kovaryans yapılarına dayalı fakat parametre sınırlandırmayı dengeleyici uyum indeksleri

Uyum İndeks	Kısaltma	Sürekli Veriler için Kriter	Kategorik Veriler	Sivo ve ark. (2006) göre*
Parsimony Oranı	PRATIO	Varsayılan model ile sıfır hipotezinin serbestlik derecesine bölünmesinden elde edilir.	-	-
Parsimony İndeksi	PI	≥0.90 ise kabul edilebilir uyum	-	-
Parsimony İyilik Uyum İndeksi	PGFI	≥0.95 ise iyi uyum	-	0.77
Parsimony Normlaştırılmış Uyum İndeksi	PNFI	≥0.95 ise iyi uyum	-	0.77
Parsimony Karşılaştırmalı Uyum İndeksi	PCFI	CFI değeri ile Basitlik Oranının çarpımındaki değerdir.	-	-
Yaklaşık Hata Kareler Ortalamasının Karekökü	RMSEA	≤0.05 ise iyi uyum, 0.06-0.08 ise kabul edilebilir uyum	<0.06	0.03
P Yakın Uyumu	PCLOSE	≥0.05 ise iyi uyum	-	-
Ağırlıklı Artık Ortalamaların Kökü	WRMR	<0.90 ise iyi uyum	<0.90	-

*: Sivo ve ark. (2006) uyum değerleri; 500 örneklem büyüklüğüne dayanmakta ve herhangi bir doğru modeli reddetmeden en uygun indeks değerini göstermektedir.

Çizelge 2.3'te verilen uyum indeksleri aşağıda açıklanmıştır.

Parsimony Oranı (PRATIO): Serbestlik derecesi duyarlılığından yararlanarak diğer uyum indekslerinin yorumlanması için kullanılmaktadır. Temel model ile hedef modelin serbestlik derecelerinin oranlanmasıyla,

$$\text{PRATIO} = sd_T / sd_B \qquad (2.22)$$

biçiminde elde edilir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008).

Parsimony İndeksi (PI): Bu indeks, normlaştırılmış uyum indeksinin parsimony oranıyla çarpımından elde edilmektedir. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, kabul edilebilir uyum için ≥ 0.90 olması gerekir (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008).

Parsimony Uyum İyiliği İndeksi (PGFI): GFI'nın bir parçası olan bu indeks temel ve hedef modeller üzerinde etki yaratarak modelin uyumunu göstermekte ve parsimony oranı ile uyum iyiliği indeksinin çarpımından elde edilmektedir. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≥ 0.95 olması gerekir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011).

Parsimony Normlaştırılmış Uyum İndeksi (PNFI): Parsimony normlaştırılmış uyum indeksi, parsimony uyum indeksi ile aynı işlevi görmektedir. Parsimony oranı ile normlaştırılmış uyum indeksinin çarpımından elde edilmektedir (Meydan ve Şeşen, 2011). Parsimony normlaştırılmış uyum indeksi ölçütü,

$$\text{PNFI} = (sd_T / sd_B) \times \text{NFI} \qquad (2.23)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir (Hoyle, 1995; Kaplan, 2008; Marcoulides ve Schumacker, 2013). Burada, p, gözlenen değişkenlerin toplam sayısını göstermek üzere, temel model için serbestlik derecesi $sd_T=p(p-1)/2$ ile hesaplanır. (Kaplan, 2008). Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≥ 0.95 olması gerekir (Hoyle, 1995; Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011).

Parsimony Karşılaştırmalı Uyum İndeksi (PCFI): Parsimony oranı ile karşılaştırmalı uyum indeksinin çarpımından elde edilen Parsimony karşılaştırmalı uyum indeksi ölçütü,

$$\text{PCFI} = (sd_T / sd_B) \times CFI \qquad (2.24)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008).

Yaklaşık Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSEA): Steiger ve Lind (1980) tarafından geliştirilen ve literatürde en çok kullanılan indekslerden biri olan RMSEA, kitle kovaryansları hakkında bilgi vermektedir. 0-1 aralığında yer almaktadır, ancak diğer indekslerin aksine sıfıra yaklaşması daha iyi uyum anlamına gelmektedir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008; Çokluk ve ark., 2012). RMSEA, serbestlik derecesi başına gözlenen ve tahmin edilen matrisler arasındaki uzaklığın kareler ortalamasını ölçmektedir (Knoke, 2003). Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≤ 0.05, kabul edilebilir uyum için 0.06-0.08 arasında olması gerekir

(Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008; Çokluk ve ark., 2012). Yaklaşık hata kareler ortalamasının karekökü indeksi ölçütü,

$$RMSEA = \sqrt{maks([((\chi_T^2 / sd_T) - 1) / (N - 1)], 0)} \qquad (2.25)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada, N kitle büyüklüğünü göstermektedir (Hoyle, 1995).

P Yakın Uyumu (PCLOSE): RMSEA indeksine alternatif olarak geliştirilen bu indekste model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için ≥ 0.05 olması gerekir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006).

Ağırlıklı Artık Kareler Ortalamasının Karekökü (WRMR): 0-1 aralığında değişen bu indekste model uyumu değerlendirmesi yapılırken, iyi uyum için < 0.90 olması gerekir (Schreiber, 2008).

Çizelge 2.4'te bilgi teorisine dayalı uyum indeksleri verilmektedir.

Çizelge 2.4. Bilgi teorisine dayalı uyum indeksleri

Uyum İndeks	Kısaltma	Sürekli Veriler için Kriter	Kategorik Veriler	Sivo ve ark. (2006) göre*
Akaike Bilgi Kriteri	AIC	Karşılaştırılan modelden daha küçük olan değer	-	-
Beklenen Çapraz Doğrulama İndeksi	ECVI	Daha düşük ECVI değeri daha iyi uyumdur.	Kullanılmaz.	-
Browne-Cudeck Kriteri	BCC	>0.90 ise iyi uyum	-	-
Mcdonald Merkezileştirilmemiş Parametre İndeksi	MCI	>0.90 ise iyi uyum	-	-
Tutarlı Akaike Bilgi Kriteri	CAIC	Model CAIC < Doymuş Model	-	-
Bayesci Bilgi Kriteri	BIC	AIC gibidir. Model parametresi sayısı az örneklem büyüklüğü çok ise kullanılır.	-	-
Etkileşim Etki Boyutu	IES	Etkileşim büyüklüğünü ölçer.	-	-
Hoelter'ın Kritik N Değeri	CN	χ^2 için 0.05 ve 0.01 anlamlılık düzeyini ölçer ve en az 200 örneklem olması gerekir.	-	-

*: Sivo ve ark. (2006) uyum değerleri; 500 örneklem büyüklüğüne dayanmakta ve herhangi bir doğru modeli reddetmeden en uygun indeks değerini göstermektedir.

Çizelge 2.4'te verilen uyum indeksleri aşağıda açıklanmıştır.

Akaike Bilgi Kriteri (AIC): Temel hedefi belirlenen iki model arasında karşılaştırma yapmaktadır. İki model arasındaki karşılaştırma sonucunda en küçük AIC değerine sahip model, gerçek modele daha yakın olduğu için tercih edilmektedir. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, karşılaştırılan modelden daha küçük olan AIC değeri seçilmekte ve bu değerin sıfıra yakın olması beklenmektedir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008; Schreiber, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011). Akaike bilgi kriteri ölçütü,

$$AIC = N \times \log(RSS / N) + 2k \qquad (2.26)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada, N gözlem sayısını, k modeldeki parametre sayısını ve RSS artık kareler toplamını göstermektedir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008; Schreiber, 2008).

Beklenen Çapraz Doğrulama İndeksi (ECVI): Kaplan (2008), Brown ve Cudeck (1993) yaptıkları çalışmada yapısal eşitlik modellemesi için çapraz doğrulama sıkılıkları üzerinde çalışmışlardır. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken modelin kabul edilebilir veya iyi uyuma sahip olabilmesi için, karşılaştırılan modelden daha küçük ECVI değerine sahip olması gerekmektedir. Bu test genellikle iç içe geçmiş model karşılaştırmalarında kullanılmamaktadır (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Kaplan, 2008). Beklenen çapraz doğrulama indeksi,

$$ECVI = E[F(S_V, \hat{\Sigma}_C)] = F(\Sigma_0, \hat{\Sigma}_0) + n^{-1}(p^* + q) \quad (2.27)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada, S örneklem kovaryans matrisini, Σ uygun kovaryans matrisini, $p^* = \frac{1}{2 \times p \times (p+1)}$ Σ'nın elemanlarını, n örneklem büyüklüğünü, p parametre sayısını göstermektedir (Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011).

Browne-Cudeck Kriteri (BCC): Model uyumu değerlendirmesi yapılırken, kabul edilebilir uyum için >0.90 olması gerekir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Schreiber, 2008).

Mcdonald Merkezileştirilmemiş Parametre İndeksi (MCI): Karmaşık modellerde ki-kare değeri üzerindeki yanlışlığı gidererek olumlu etki yaratmaktadır. Model uyumu değerlendirmesi yapılırken modelin kabul edilebilir uyum için >0.90 olması gerekir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Schreiber, 2008). Mcdonald mekezileştirilmemiş parametre indeksi,

$$\text{MCI} = \exp\{-1/2[(\text{T}_T - sd_T)/(N-1)]\} \quad (2.28)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir (Hoyle, 1995).

Tutarlı Akaike Bilgi Kriteri (CAIC): Örneklem büyüklüğüne duyarlı olduğundan oluşabilecek yanlış etkiyi gidermektedir ve AIC indeksi ile benzer işleve sahiptir. Modeldeki CAIC değerinin doymuş modelden daha küçük olması model uyumunun iyi olduğunu göstermektedir (Schreiber, 2008).

Bayesci Bilgi Kriteri (BIC): Modelde parametre sayısının minimum, örneklem büyüklüğünün maksimum olduğu durumlarda AIC yerine kullanılmaktadır. İki model arasındaki karşılaştırmada meydana gelecek olan sapmaları dengeleyen bir indekstir.

Model uyumunun değerlendirmesi AIC indeksine benzer şekilde yapılmaktadır (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Schreiber, 2008).

Etkileşim Etki Boyutu (IES): Model içerisine herhangi bir etkileşim ya da değişken eklenmesi durumunda oluşacak etkinin şiddetini belirlemektedir. Ki-kare istatistiği üzerindeki yüzdelik değişim hakkında bilgi veren örnek bir kriter olarak bilinmektedir (Ayyıldız ve Cengiz, 2006; Schreiber, 2008).

Hoelter'ın Kritik N Değeri (CN): Ki-kare istatistiğindeki anlamlılık seviyesini belirleyebilmek için minimum 200 değeri olacak şekilde örneklem büyüklüğünü vermektedir. CN değeri,

$$\mathrm{CN} = \{(z_{crit} + \sqrt{2sd - 1})^2 / [2T_T / (N-1)]\} + 1 \qquad (2.29)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. z_{crit}, α önem seviyesinde belirlenen kritik değeri göstermektedir (Hoyle, 1995; Schreiber, 2008).

Çizelge 2.5'te artımlı yedi indeks için ki-kare gösterimi verilmektedir.

Çizelge 2.5. Artımlı yedi indeks için ki-kare gösterimi

İndeks	Farklı Etiket	Formülasyon
Tucker Lewis İndeksi Veya Normlaştırılmamış Uyum İndeksi	$TLI = \chi^2 / sdI2$, rho(ρ) ya da ρ2, BEBOUC	$[\chi_b^2 / sd_b - \chi_t^2 / sd_t] / [\chi_b^2 / sd_b - 1]$
Normlaştırılmış Tucker Lewis İndeksi	NTLI	Min(Maks(0,NNFI),1)
Bentler Bonett İndeksi Veya Normlaştırılmış Uyum İndeksi	BBI;χ^2-I1 Δya da Δ1, BEBONC	$(\chi_b^2 - \chi_t^2) / \chi_b^2$
Göreceli Uyum İndeksi	χ^2/sdI1, π1 ya da RHO1	$[\chi_b^2 / sd_b - \chi_t^2 / sd_t] / [\chi_b^2 / sd_b]$
Artımlı Uyum İndeksi	χ^2-I2, Δ2 ya da DELTA2	$(\chi_b^2 - \chi_t^2) / (\chi_b^2 / sd_t)$
Göreceli Merkezil Olmayan Uyum İndeksi	RNFI, FI	$1 - [(\chi_t^2 - sd_t) / (\chi_b^2 - sd_b)]$
Karşılaştırmalı Uyum İndeksi	CFI	$1 - [Maks(\chi_t^2 - sd_t), 0 / Maks(\chi_b^2 - sd_b, \chi_t^2 - sd_t, 0)]$

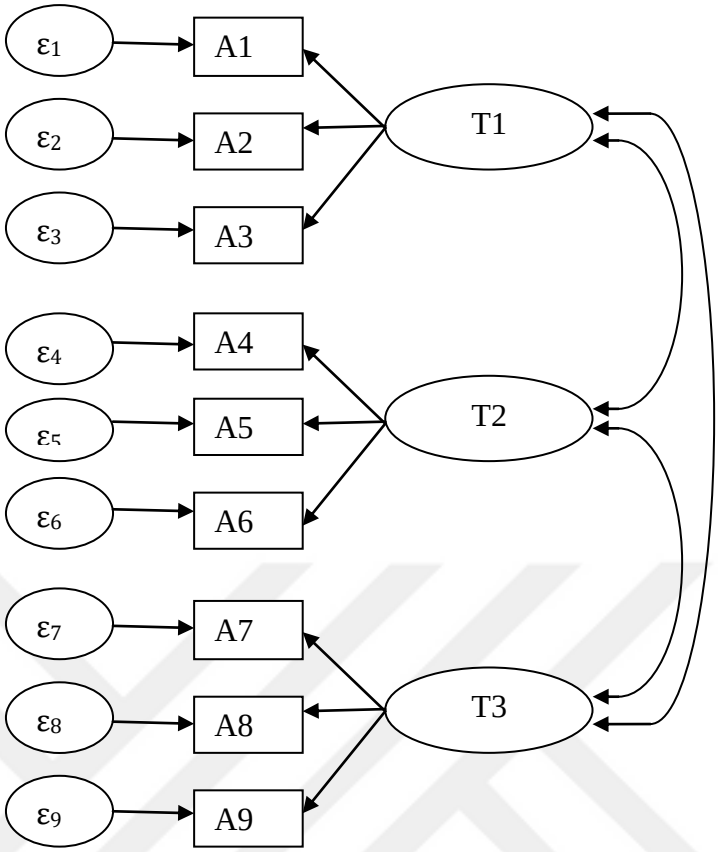
Çizelge 2.5'te görüldüğü gibi, birçok uyum indeksi ki-kare istatistiğine bağlıdır ve serbestlik derecelerine duyarlıdır (Marcoulides ve Schumacker, 2013).

Günümüzde, araştırmacılar arasında indeks seçme ve kritik seviyelerini değerlendirilmesinde fikir ayrılıkları ortaya çıkmıştır. Bunun üzerine araştırmacılar aşağıda verilen ortak fikirler üzerinde uzlaşmışlardır:

- Güçlü bir teori, model uyumunu değerlendirmenin en iyi kılavuzudur.
- Ki-kare, model uyum değerlendirmesinde tek dayanak olmamalıdır.
- Genel uyumun tek bir ölçütüne güvenilmemelidir.
- R^2 değeri ve tahmin katsayılarının büyüklükleri gibi diğer model bileşenleri de dikkate alınmalıdır.
- Tek bir modelin mutlak anlamda uyumunu değerlendirmek yerine, makul alternatif yapılar için birkaç model incelenmelidir (Knoke, 2003).

Model uyum istatistikleriyle model testi yapıldıktan sonra, kurulan temel model ile hedef model arasında yeterli uyum olmadığı gözlendiğinde model düzeltme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem, gözlenen değişkenler ile gizil değişkenler arasındaki kovaryans yapısına bakılarak elde edilen ki-kare değerlerinin hatalar üzerinden yorumlanmasıyla devam etmektedir (Chou ve Bentler, 2002).

Şekil 2.4'te, yapısal eşitlik modellemesi için örnek bir yol analizi modeli verilmiştir.



Şekil 2.4. Yapısal eşitlik modellemesi için yol analizi modeli örneği

Şekil 2.4'te verilen örnek model için, model uyum değerlendirmesi yapıldığında iyi uyum göstermeyen model, ki-kare indeksine göre Çizelge 2.6'da yeniden değerlendirilmiştir (Meydan ve Şeşen, 2011).

Çizelge 2.6. Önerilecek model için yeniden tanımlama örneği

Modele ait hatalar	Model indeksi (Ki-kare değeri)	Değişim oranı
Hata1↔ Hata2	4.9	.03
Hata1↔ Hata3	5.3	-.66
Hata1↔ Hata4	14.8	.06
Hata4↔ Hata5	4.03	.49
Hata4↔ Hata6	13.9	.07
Hata4↔ Hata7	9.5	.93
Hata4↔ Hata8	8.6	.9
Hata4↔ Hata9	4.3	.03
Hata2↔ Hata3	9.5	.74
Hata2↔ Hata4	14.8	1.26
Hata2↔ Hata5	7.02	.97
Hata2↔ Hata6	7.1	.08
Hata2↔ Hata7	4.3	-.02
Hata2↔ Hata8	10.07	-.62
Hata3↔ Hata4	7.9	.04
Hata3↔ Hata5	8.06	-.24
Hata3↔ Hata6	6.4	.22
Hata3↔ Hata7	5.7	.24
Hata5↔ Hata6	6.1	.23
Hata5↔ Hata7	4.09	.2
Hata6↔ Hata7	4.6	.17
Hata8↔ Hata9	4.7	-.2

Çizelge 2.6'daki sonuçlara göre, Hata1↔ Hata4; Hata4↔ Hata6; Hata2↔ Hata4 ve Hata2↔ Hata8 hata terimlerinin birbirine bağlanmasıyla elde edilecek olan düzeltme indeksinin yani model ki-kare değerinin yüksek oranda düzeleceği görülmektedir (Meydan ve Şeşen, 2011). Hata terimlerinin birbirine bağlanması kovaryans matrislerin eşitlenmesi anlamına geleceğinden, yapılacak birleştirme işlemi teorik olarak ayrıntılı biçimde incelenmek zorundadır (Chou ve Bentler, 2002; Meydan ve Şeşen, 2011). Model düzeltme işlemi ile birleştirilecek değişkenler belirlendikten sonra, model tekrar test edilerek uygulama adımları sırasıyla uygulanır.

2.7. Yol Analizi

Yapısal eşitlik modellemesinde, yol analizi ya da yol diyagramı oldukça çok kullanışlı bir yöntemdir. Gözlenen değişkenler arasında yapısal ilişkilerin gösterimi, yol diyagramı çizilerek yapılmaktadır. Yol analizi, ekonometri alanında eş zamanlı denklem modellemesi olarak adlandırılmaktadır (Kaplan, 2008).

Wright (1934), yapısal eşitlik modellemesi analizini yol diyagramı ile ifade ederek literatüre kazandırmıştır. Yol analizi, iki ya da daha fazla değişken arasındaki neden-sonuç ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan, mantıksal kavram olarak çoklu regresyon yapısına benzeyen, bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin

yapısının kovaryanslar ve yol katsayıları ile incelendiği analiz yöntemidir (Hoyle, 1995; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

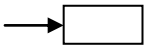
Genetik bilimci Wright (1921) tarafından başlatılan gelişimini ve bu alana katkıda bulunan araştırmacıları kronolojik sırayla açıklayalım. SEM için yapılan çalışmalar kronolojik olarak aşağıdaki gibidir (Schumacker ve Lomax, 2004; Oktay ve ark., 2012):

- Wright (1921), yol katsayısını standart dışsal değişken üzerindeki standart sapma cinsinden oluşan değişim oranı olarak tanımlamıştır.
- Wright (1934), yol analizi tekniğini matematiksel olarak yol diyagramı ile ifade etmiştir.
- Wright (1960), Tukey (1954)'in çalışmasına katkıda bulunarak standartlaştırılmış katsayılar hakkında bilgiler vermiştir.
- Boudon (1965) ve Blalock (1965) çalışmaları ile sosyal bilimler üzerinde yol modelini geliştirmişlerdir.
- Land (1969), yol analizi prensiplerini ve mantıksal kavramı hakkında bilgiler vermiştir. Heise (1970), yol modelleri için temel varsayımlar ve koşullar hakkında bilgiler sunmuştur.
- Li (1975), yol diyagramlarını doğrusal regresyon denklemleri ve regresyon katsayıları üzerindeki mantıksal bağlantıyı göstererek açıklamıştır.

Yol analizinde kullanılan yol diyagramı, modelin tanımlanmasında, modeldeki ilişkilerin belirlenmesinde ve değişkenlerin açık bir şekilde anlaşılmasında pratik bir katkı sağlamaktadır (Kaplan, 2008).

Çizelge 2.7'de, yapısal eşitlik modellemesinde yaygın olarak kullanılan yol diyagramı için semboller ve anlamları verilmiştir (Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Oktay ve ark., 2012).

Çizelge 2.7. Yapısal eşitlik modellemesi yol diyagramına ilişkin semboller ve açıklamaları

Kategori	Sembol	Anlamı
Gizil		Daire/Elips: Modeldeki gizil değişkenleri tanımlar.
Gözlenen		Kare/Dikdörtgen: Modelde araştırmacı tarafından ölçülen değişkeni tanımlar.
Doğrudan etki		Tek yönlü ok: Değişkenler arasındaki tek yönlü etkiyi tanımlamaktadır.
İlişki katsayısı		Çift yönlü ok: Değişkenler arasındaki varyans ya da kovaryansı tanımlar.
Karşılıklı etki (Geribildirim döngüsü)		İki yönlü çift ok: Değişkenler arasındaki karşılıklı etkiyi tanımlar.
Katsayı		Gözlenen değişkenin gizil değişken üzerindeki yol katsayısını tanımlar.
Katsayı		Gizil değişkenin başka bir gizil değişken üzerindeki yol katsayısını tanımlar.
Hata		Gözlenen değişkenin ölçüm hatasını tanımlar.
Hata		Gizil faktörün tahmini için artık hatayı tanımlar.

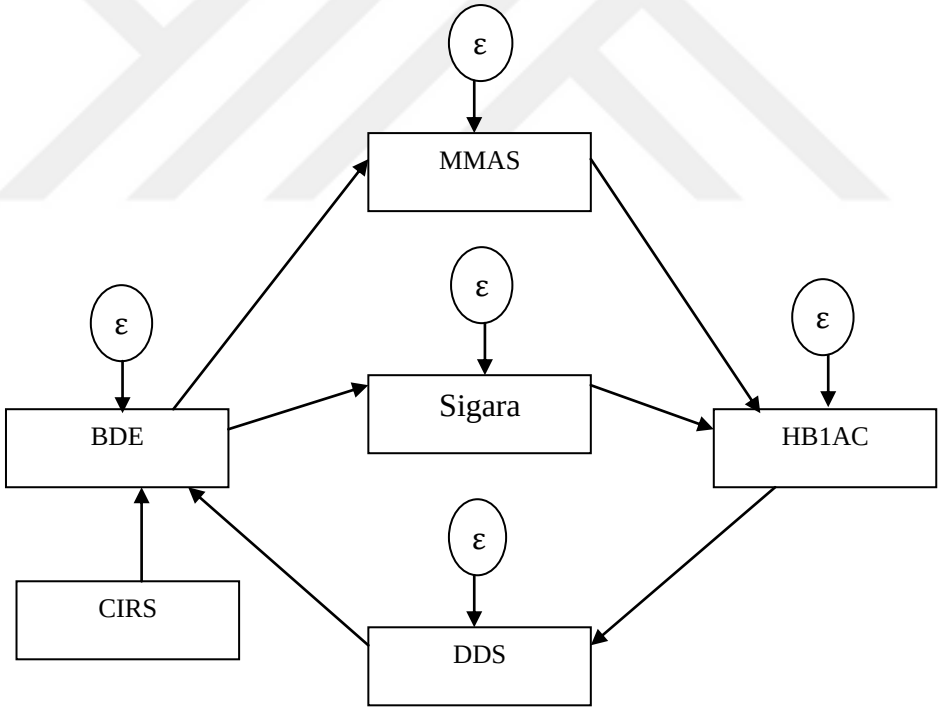
Yol analizi, çoklu regresyon modeline benzemesine rağmen bazı farklı özellikleri nedeniyle ayrışmaktadır. Çoklu regresyonda bir tane bağımlı değişken varken yapısal eşitlik modellemesinde birden çok bağımlı değişken olabilmesidir (Meydan ve Şeşen, 2011; Bendermacher ve ark., 2017).

Yol analizi yapabilmek için, çok değişkenli normal dağılım, varyans-kovaryans matrislerinin homojenliği, hataların bağımsızlığı ve çoklu doğrusal bağlantı probleminin olmaması gibi varsayımların sağlanması gerekmektedir.

Yapısal eşitlik modellemesinde gizil değişkenlerle yol analizi, gözlenen değişkenlerle yol analizi ve melez yol analizi olnak üzere üç ana kavram analiz edilmektedir.

Gözlenen Değişkenlerle Yol Analizi: Gizil değişkenlere göre daha basit bir analiz olmasına rağmen, ayrıntılı bilgi veremediği ve modeldeki hataları çözümleyemediği için avantajlı bir yöntem değildir. Gözlenen değişkenler, araştırmacı tarafından doğrudan gözlenen veya ölçülen değişkenlerdir. Gözlenen değişkenler ile yol analizi, gözlenen değişkenlerin puanlarının toplamı alınarak yapılmaktadır. Bağımsız değişkenlerdeki gözlenen hatalar nedeniyle, kurulan modelin geçerliliği ve güvenilirliği gizil değişkenlerdeki yol analizi yöntemine göre daha düşüktür (Hoyle, 1995; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Oktay ve ark., 2012).

Şekil 2.5'te, gözlenen değişkenler ile kurulan yol analizi modeline ilişkin yol diyagramı gösterilmektedir (Belvederi Murri ve ark., 2017).

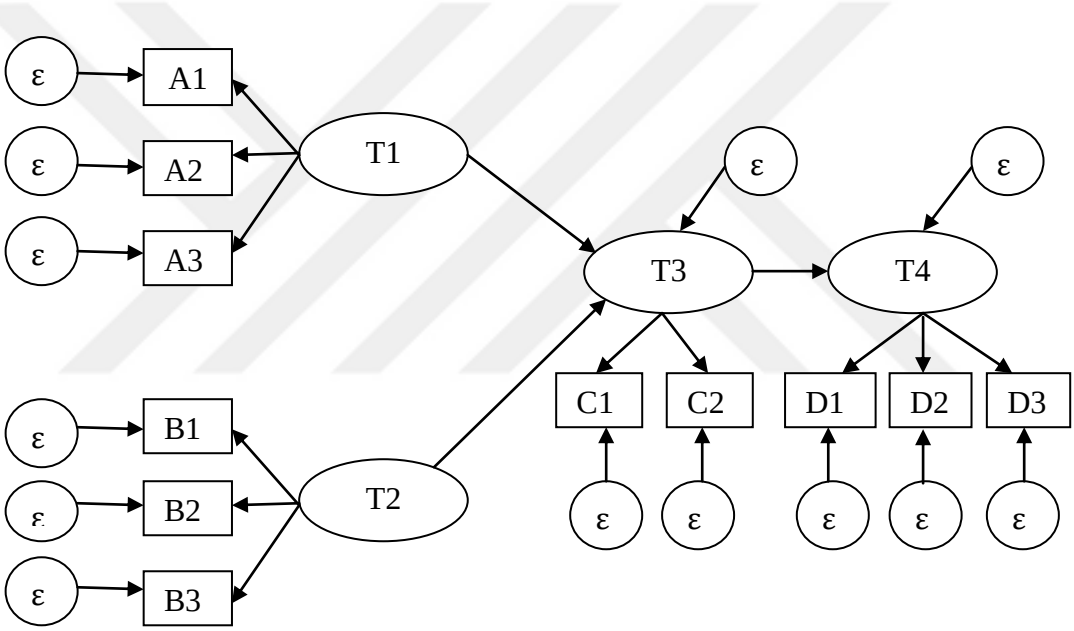


Şekil 2.5. Gözlenen değişkenler ile kurulan yol analizi modeline ilişkin yol diyagramı

Şekil 2.5'te, Beck Depresyon Envanteri (BDE), Morisky İlaç Aderans Ölçeği (MMAS), gilisemik hemoglobin kontrol indeksi (HB1AC), Diyabet Şikayet Ölçeği (DDS), Kümülatif Hastalık Değerlendirme Ölçeği (CIRS) gözlenen dışsal değişkenleri ve sigara içsel değişkeniyle kurulan yol diyagramı, gözlenen değişkenlerle kurulan yol analizine örnektir. ε, gözlenen değişkenlerdeki hatayı göstermektedir.

Gizil Değişkenlerle Yol Analizi: Yapısal eşitlik modellemesinde her bir ölçüm modelinde gizil yapıda bulunan gizil değişkenleri gözlenen değişkenlerden ayıran tek nokta, modele dâhil edilen ölçüm hatalarıdır. Bu ölçüm hataları sayesinde, gizil değişkenlerle yapılan yol analizi geçerlilik ve güvenilirlik açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Doğrulayıcı faktör analizi modelleri ile temsil edilmektedir (Hoyle, 1995; Anıl ve Güzeller, 2011; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Oktay ve ark., 2012).

Şekil 2.6'da, yol analizine ilişkin yol diyagramı, içsel (T3 ve T4 bağımlı değişkenlerinin oluşturduğu yapı) ve dışsal (T1 ve T2 bağımsız değişkenlerinin oluşturduğu yapı) gizil değişkenlerle birlikte gösterilmektedir (Hoyle, 1995; Anıl ve Güzeller, 2011; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Oktay ve ark., 2012).

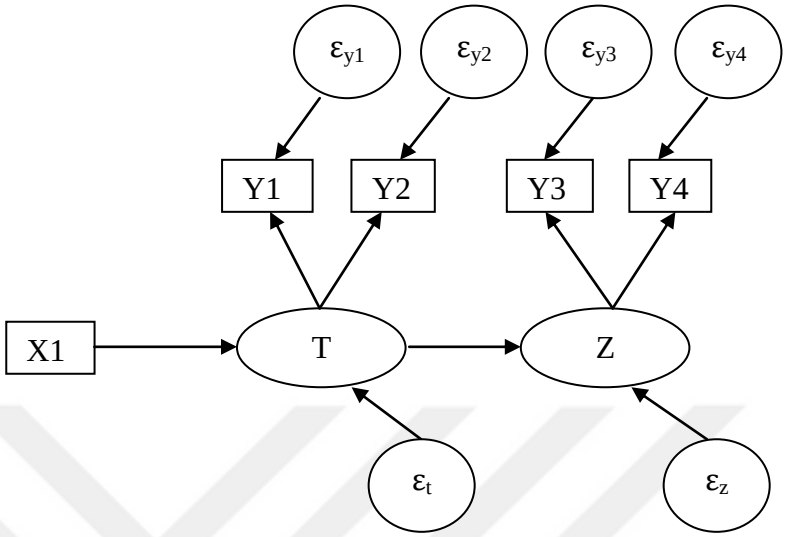


Şekil 2.6. Gizil değişkenlerle yol analizine ilişkin yol diyagramı

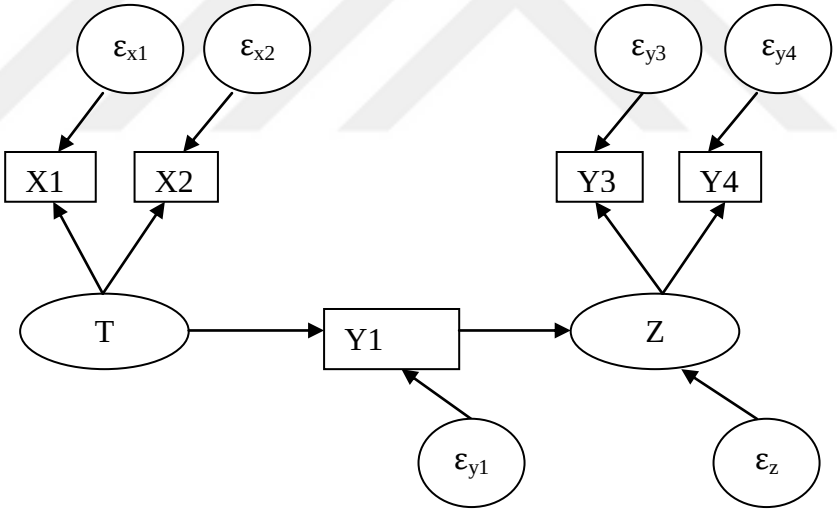
Melez Yol Analizi: Melez yol analizi yönteminde, yapısal model ve ölçüm modeli bir arada gösterilerek gizil ve gözlenen değişkenler karmaşık olarak verilmektedir. Yol analizi modelinin melez olarak kurulması, doğrudan ve dolaylı etkilerle ilgili kurulan alternatif hipotezlerin test edilerek yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır (Hoyle, 1995; Anıl ve Güzeller, 2011; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Oktay ve ark., 2012).

Melez yol modelleri, demografik veriye ait değişkenlerde ve doğrusal olarak gözlenen tüm modellerde araştırmacılara esneklik sağlamaktadır.

Melez yol modelleri, gözlenen değişkenler için tek göstergeli dışsal ve tek göstergeli içsel değişken olmak üzere iki şekilde gösterilmekte ve sırasıyla Şekil 2.7'de ve Şekil 2.8'de verilmektedir (Çokluk ve ark., 2012).



Şekil 2.7. Tek göstergeli gözlenen dışsal değişken

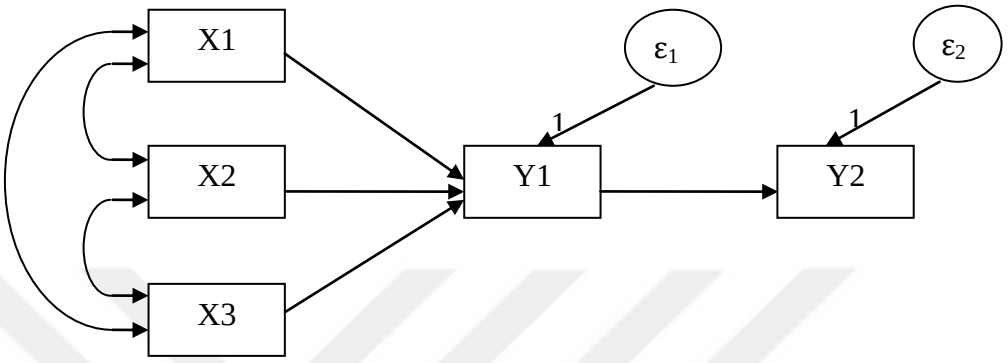


Şekil 2.8. Tek göstergeli gözlenen içsel değişken

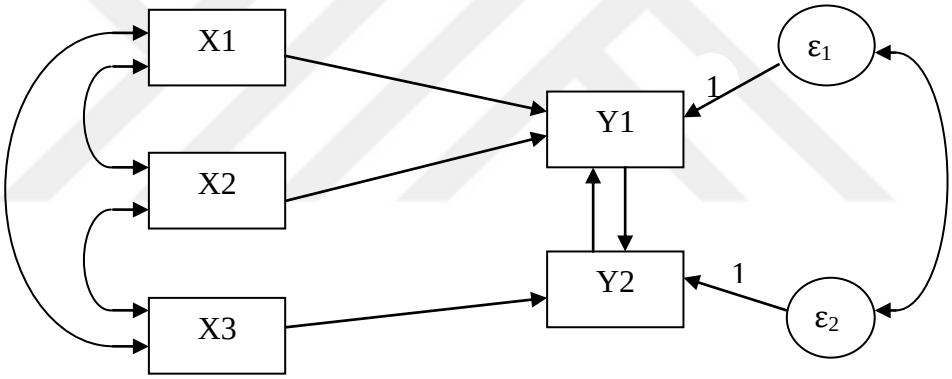
Dönüşümlü ve Dönüşümlü Olmayan Modeller: Eşitlik (2.1)'de verilen (mxm) boyutlu B katsayı matrisinin elemanlarının özellikleri, yol analiz modellerinin dönüşümlü ve dönüşümlü olmayan modeller olmak üzere iki temel sınıflandırma arasında ayrım yapılmasını sağlamaktadır. Dönüşümlü model sistemin karakteristik bir özelliği, "B" matrisinin alt üçgeninde yer alan içsel değişkenler arasındaki ilişkiyi temsil eden "B" elemanlarının bulunmasıdır. Dönüşümlü olmayan modelde ise, iki içsel değişken arasındaki geri bilgi akışı olmayan döngü olarak belirtilmektedir. Dönüşümlü

olmayan modeller, ekonomi alanında eşzamanlı denklem modelleri olarak adlandırılır ve belirli mallar için arz ve talep problemlerini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Hoyle, 1995; Çokluk ve ark., 2012).

Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da, dönüşümlü ve dönüşümlü olmayan modellerde değişkenler arasındaki ilişki kovaryanslar aracılığıyla gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Dönüşümlü yol modeli



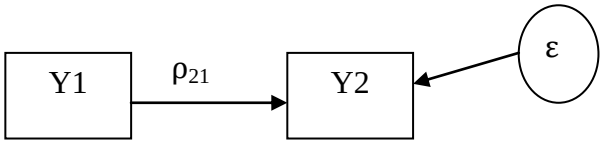
Şekil 2.10. Dönüşümlü olmayan yol modeli

Örneğin; Şekil 2.10'da Y1 değişkeni Y2 değişkenini etkilediğinden ve ε_1 hata miktarı Y1 değişkenini etkilediğinden, aynı hata miktarı Y2 değişkenini de etkileyecektir. Y2 için de süreç aynı şekilde çalışmaktadır (Hoyle, 1995).

İçsel ve dışsal değişkenler arasındaki ilişki standartlaştırılmış yol katsayıları (ρ) ile gösterilmektedir. Bu ilişki çeşitleri, doğrudan etki, dolaylı etki, U etkisi ve S etkisi olmak üzere dört grupta incelenmektedir (Hoyle, 1995; Schumacker ve Lomax, 2004; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Cha ve ark., 2017).

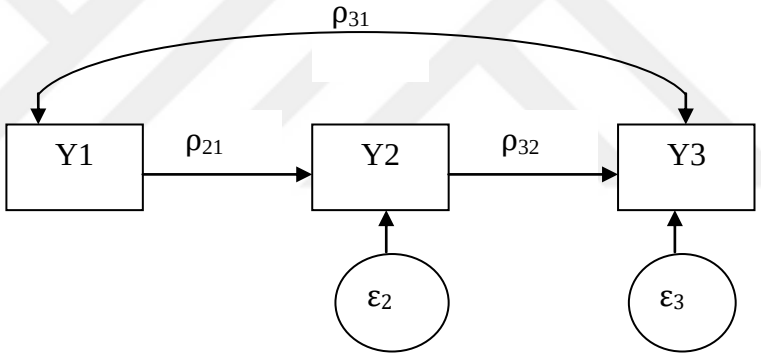
Doğrudan Etki: Herhangi bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkenlere, arada hiçbir değişkene etki etmeden yaptığı etkidir (Hoyle, 1995; Schumacker ve Lomax, 2004; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Cha ve ark., 2017). Örneğin; bağımsız değişken (Y1), bağımlı değişken (Y2) ve yol katsayısı (ρ_{21}) olmak

üzere, doğrudan etki gösteren değişkenlere ait yol modeli Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Doğrudan etki gösteren değişkenlerine ilişkin yol modeli

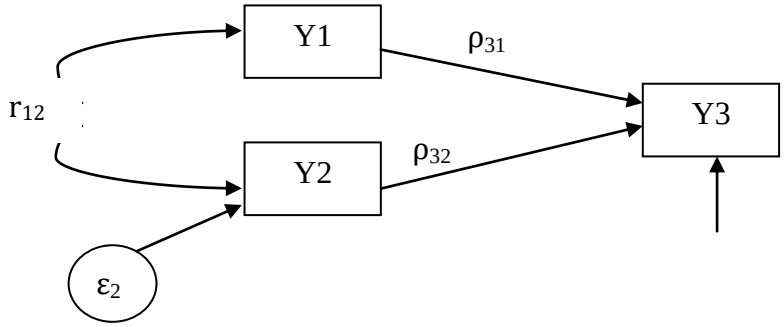
Dolaylı Etki: Herhangi bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene aracı değişkenle etki ederek yaptığı etkidir (Hoyle, 1995; Schumacker ve Lomax, 2004; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Cha ve ark., 2017). Örneğin; bağımsız değişken (Y1), bağımlı değişken (Y3), aracı değişken (Y2) ve yol katsayıları (ρ_{21}, ρ_{31} ve ρ_{32}) olmak üzere, dolaylı etki gösteren değişkenlere ait yol modeli Şekil 2.12'de gösterilmektedir (Aksu ve ark., 2017).



Şekil 2.12. Dolaylı etki gösteren değişkenlerine ilişkin yol modeli

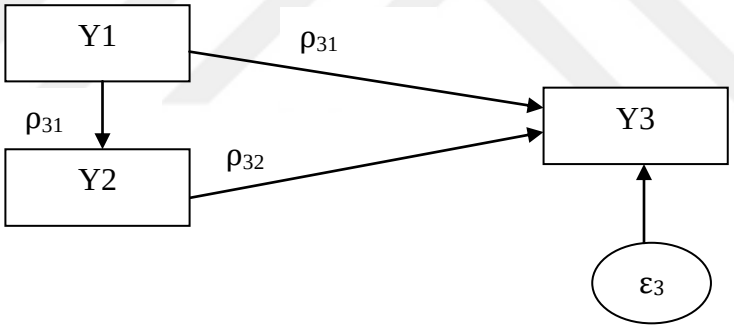
U Etkisi: Herhangi bir bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi gösteren yol modeli "U" etkisi göstermekte ve *"U tipi ilişki"* olarak adlandırılmaktadır (Hoyle, 1995; Schumacker ve Lomax, 2004; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Cha ve ark., 2017). Örneğin; bağımsız değişken (Y1), bağımlı değişken (Y3), aracı değişken ya da bağımsız değişken (Y2) ,yol katsayıları (ρ_{31} ve ρ_{32}) ve korelasyon katsayısı (r_{12}) olmak üzere, bağımsız değişken Y1'in diğer bir bağımsız değişken Y2 üzerinden bağımlı Y3 değişkenine yaptığı etkiye U etkisi adı verilmektedir.

Şekil 2.13'de verilen yol diyagramında U etkisi gösteren değişkenlere ait yol modeli gösterilmektedir (Aksu ve ark., 2017).



Şekil 2.13. U tipi ilişki gösteren değişkenlerine ilişkin yol modeli

S Etkisi: Herhangi bir değişkenin diğer değişkenleri aynı anda etkilediği değişkene aracı değişken ve bunun oluşturduğu etkiye ise S etkisi adı verilmektedir (Hoyle, 1995; Schumacker ve Lomax, 2004; Kaplan, 2008; Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012; Cha ve ark., 2017). Bağımsız değişken (Y1), bağımlı değişken (Y3), aracı değişken (Y2) ve yol katsayıları (ρ_{21}, ρ_{31} ve ρ_{32}) olmak üzere Şekil 2.14'te tüm değişkenler birbirlerini etkilemekte ve S etkisi gösteren değişkenlere ait yol modeli gösterilmektedir (Aksu ve ark., 2017).



Şekil 2.14. S tipi ilişki gösteren değişkenlere ilişkin yol modeli

S etkisi ile dolaylı etkiyi karıştırmamak için değişkenler arasında kurulan okların yönüne dikkat edilmesi gerekmektedir.

2.8. Faktör Analizi

Yapısal eşitlik modellemesinde, en çok kullanılan analiz yöntemlerinden biri doğrulayıcı faktör analizidir. Faktör analizi, aralarında ilişki bulunan p sayıdaki değişkenle açıklanan bir yapıyı, kendi içlerinde ilişkili olup aralarında ilişki olmayan daha az sayıda değişkenle ($k<p$) açıklamaya yarayan çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemidir (Mertler ve Reinhart, 2016).

Gözlemlenen ölçümleri faktörlerle ilişkilendirmek için kullanılan model, doğrulayıcı faktör analizi modelidir ve

$$x = \Lambda_x \xi + \delta \tag{2.30}$$

eşitliği ile ifade edilmektedir (Kaplan, 2008). Eşitlik (2.30)'da,

x: (q×1) boyutlu gözlemlerin vektörü,

Λ_x : (q×k) boyutlu ilişki faktör yükleri (ağırlıkları),

ξ: (k×1) boyutlu gizil dışsal değişken vektörü,

δ: (q×1) boyutlu ölçüm ve belirli hataları içeren tek değişken vektörüdür.

Eşitlik (2.30)'da; E(ξ) = 0, E(δ) = 0, Cov(ξ, δ) = 0 (cov: kovaryans) varsayımları altında kovaryans matrisi,

$$\begin{aligned} \sum &= \text{cov}(xx') \\ &= \Lambda_x E(\xi\xi')\Lambda_x' + E(\delta\delta') \\ &= \Lambda_x \Phi \Lambda_x' + \Theta_\delta \end{aligned} \tag{2.31}$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (2.31)'de,

Σ: (qxq) boyutlu kitle kovaryans matrisini,

Φ: (kxk) boyutlu kovaryans-varyans faktör matrisini,

Θ_δ: (qxq) boyutlu tekil varyans köşegen matrisini,

$\Omega=(\Lambda_x, \Phi, \Theta_\delta)$: faktör analizi modelinin parametrelerini içeren parametre vektörünü göstermektedir (Kaplan, 2008).

Doğrulayıcı faktör analizi (CFA), kurulan modeldeki değişkenlerin ya da indirgenmiş değişkenlerin doğrulanması amacıyla kullanılan faktör analizi yöntemidir (Bradley, 2017). Doğrulayıcı faktör analizi uygulamalarında ölçekler veya envanterler üzerinden birçok analiz yapılmaktadır. Yapısal eşitlik modellemesinde doğrulayıcı faktör analizinde en çok kullanılan program daha tutarlı sonuçlar veren AMOS paket programıdır (İlhan ve Çetin, 2014). Doğrulayıcı faktör analizi, en çok psikoloji ve sosyal bilimler alanında, ölçek ve envanter araçları ile alınan veri kümelerinde kullanılmaktadır (Çokluk ve ark., 2012).

Doğrulayıcı faktör analizinde, üst düzey değişkenlerin belirlenebilmesi çok önemlidir. Bu belirleme, gözlenen değişkenler üzerindeki faktör yükleri yada faktör

ağırlıkları ile gerçekleştirilmektedir. Model belirlendikten sonra yapılan analizde, kurulan modelin doğrulanması doğrulayıcı faktör analizinin en önemli özelliğidir (Diana, 2014).

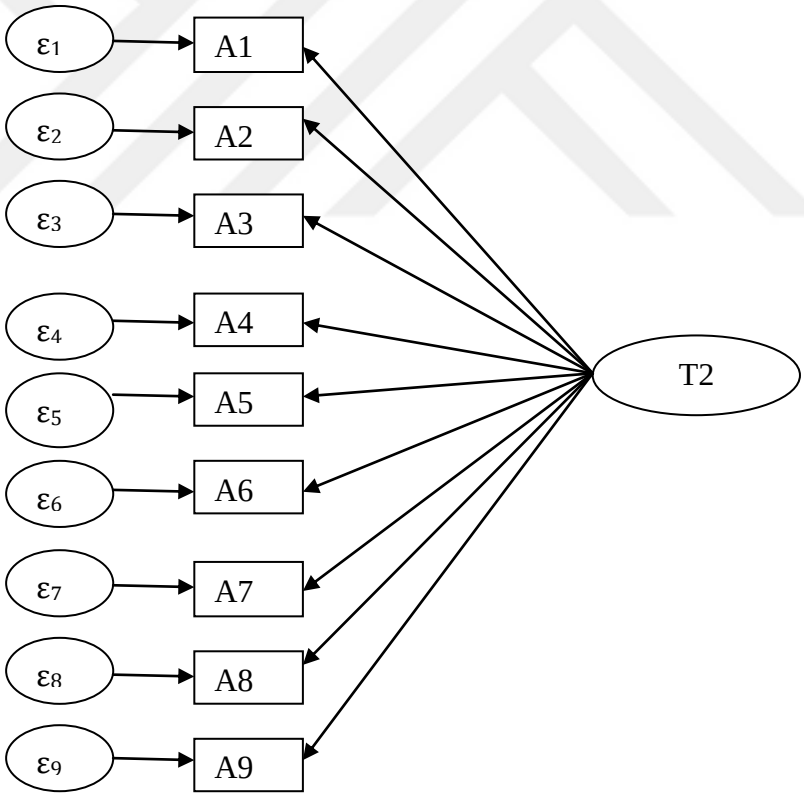
Doğrulayıcı faktör analizi,

i.) Tek faktörlü model
ii.) Birinci düzey doğrulayıcı faktör analizi
iii.) İkinci düzey doğrulayıcı faktör analizi
iv.) İlişkisiz model

olmak üzere dört temel yapıda incelenmektedir (Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

i.) Tek Faktörlü Model: Doğrulayıcı faktör modellerinde tüm gözlenen değişkenlerin tek bir faktör altında toplanmasıyla oluşan modeldir (Meydan ve Şeşen, 2011).

Şekil 2.15'te, tek faktörlü model için bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Tek faktörlü model örneği

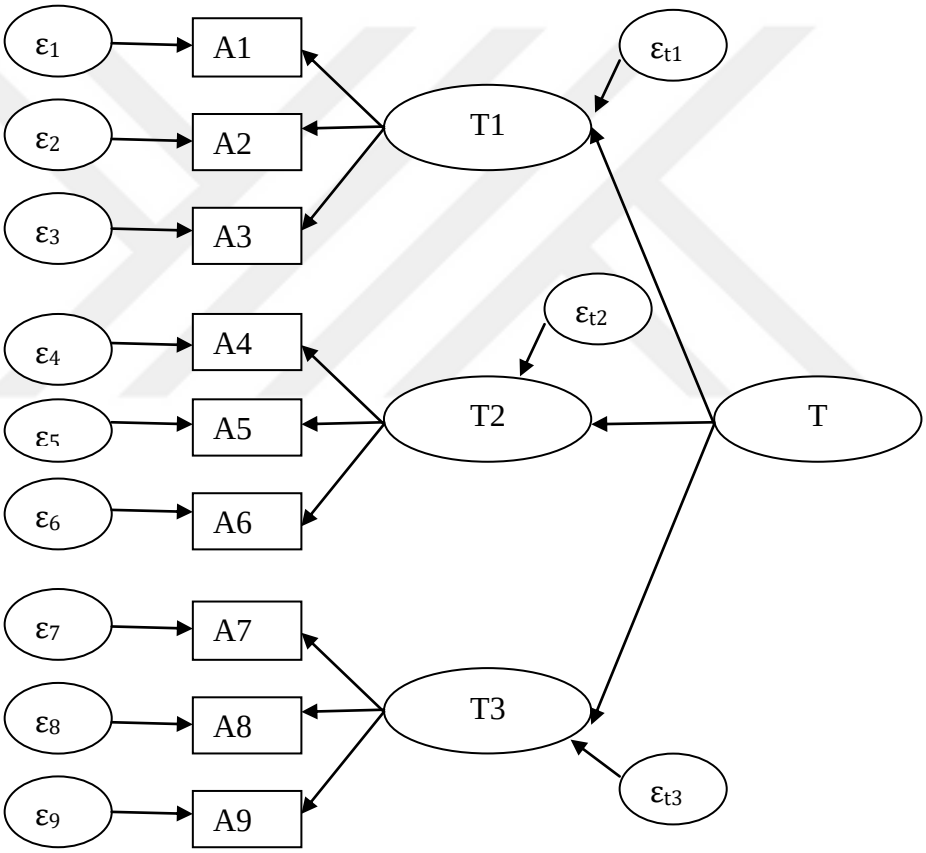
Şekil 2.15'te, tüm gözlenen değişkenler T2 değişkeni içersinde tek faktör olarak toplanmıştır (Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

ii.) Birinci Düzey CFA: Doğrulayıcı faktör modellerinde gözlenen değişkenlerin birbirleriyle bağlantısı olmayan birden çok faktör ya da değişken altında toplanmasıyla

oluşan modeldir (Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012). Şekil 2.4'te birinci düzey CFA modeli örneği verilmiştir. Birinci düzey CFA modeli, açımlayıcı faktör analizi ile test edilme olanağına da sahiptir. Doğrulayıcı faktör analizi ile açımlayıcı faktör arasındaki temel fark, gözlenen tüm değişkenlerin her bir üst seviyedeki değişken altında toplanmasıdır (Madigan, 2016; Bradley, 2017).

iii.) İkinci Düzey CFA: Birinci düzey CFA ile arasındaki fark, kurulan modeldeki gizil değişkenler ya da gözlenen değişkenlerin ikinci seviyedeki faktör içersinde birleştirilmesidir (Meydan ve Şeşen, 2011; Çokluk ve ark., 2012).

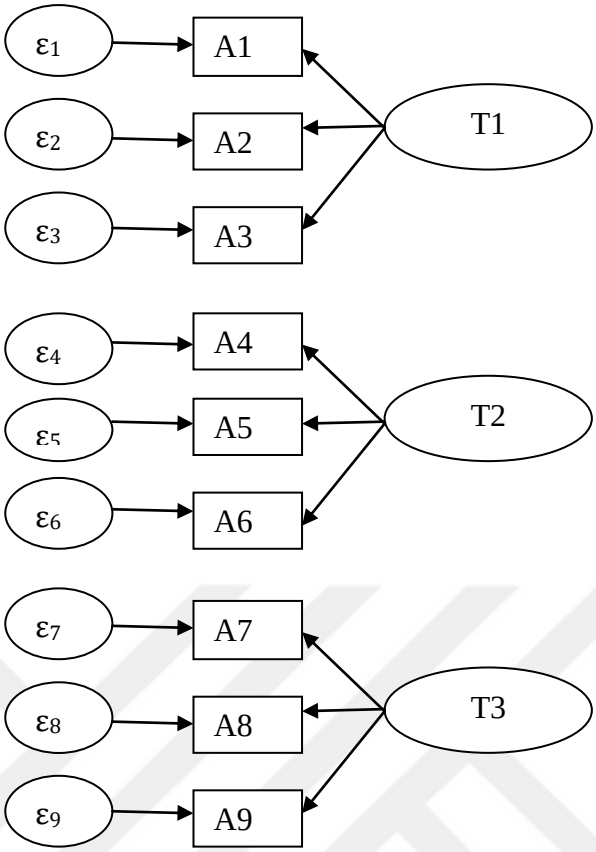
Şekil 2.16'da örneği verilen ikinci düzey doğrulayıcı faktör modelinde, en üst seviyedeki T değişkeni T1, T2 ve T3 değişkenlerini kendi bünyesinde toplamaktadır.



Şekil 2.16. İkinci düzey doğrulayıcı faktör modeli örneği

iv.) İlişkisiz Model: Gözlenen değişkenlerin üst düzey ilişkisiz faktörler altında toplandığı ve üst düzey faktörler arasında kovaryans ilişkisinin olmadığı modeldir (Meydan ve Şeşen, 2011).

Şekil 2.17'de verilen ilişkisiz model örneğinde T1, T2 ve T3 üst düzey faktörleri arasında ilişki olmadığı görülmektedir.



Şekil 2.17. İlişkisiz model örneği

2.9. Yapısal Eşitlik Modellemesinde Kullanılan Programlar

Günümüzde, bilgisayar alanındaki gelişmelerle birlikte birçok araştırma alanında yapılan analizler için çeşitli paket programlar ve yazılımlar geliştirilmektedir. Yapısal eşitlik modellemesi uygulama adımlarından model uyum iyiliği testi, model modifikasyonu ve model belirleme kısımları için hazır paket programlar geliştirilmiştir.

Hox ve Bechger (2007), yapısal eşitlik modellemesinde kullanılan paket programlarının farklı zayıf ve güçlü yanları olmasına rağmen, standart bir analiz işlemi için herhangi bir paket programın kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Yapısal eşitlik modellemesinde en çok kullanılan paket programlar; AMOS, CALIS, EQS, LISREL, Mplus ve Mx olarak verilmektedir (Hox ve Bechger, 2007; Schreiber, 2008; İlhan ve Çetin, 2014; Yılmaz, 2015; Schreiber, 2017). AMOS (SPSS/ IBM arayüz) paket programı araştırmacı Dr. James Arbluckle tarafından, EQS paket programı araştırmacı Dr. Peter M. Bentler tarafından, LISREL paket programı ise araştırmacı Karl Jöreskog ve Dag Sörbom tarafından geliştirilmiştir (Schumacker ve Lomax, 2004).

Psikoloji, sosyoloji, kriminoloji, pazarlama ve sosyo kültürel alanlardaki araştırmalarda paket programlarının kullanılmasının temel sebebi, gözlenen değişkenlerin ve gizil değişkenlerin neden-sonuç ilişkilerine ait problemlerin analizinde kolaylık sağlamasıdır (Reisinger ve Turner, 1999).

Çizelge 2.8'de, araştırmacıların kaynak bulmak için ziyaret edebileceği ve hazır paket programları indirebileceği internet kaynakları verilmiştir (Reisinger ve Turner, 1999; Schumacker ve Lomax, 2004; Joop J Hox ve Bechger, 2007; Schreiber, 2008; de Luna ve ark., 2014; İLHAN ve Çetin, 2014; YILMAZ, 2015; Schreiber, 2017).

Çizelge 2.8. Yapısal eşitlik modellemesinin internet alanındaki yeri

İnternet adresi	Açıklama
www.statmodel.com	Mplus programına ulaşım için önerilir.
www.vcu.edu/mx	Mx programına ulaşım için önerilir.
www.spss.com/amos/index.htm	AMOS programına ulaşım için önerilir.
www.mvsoft.com/eqs60.htm	EQS programına ulaşım için önerilir.
http://v8doc.sas.com/sashtml/stat/chap19/index.htm	CALIS programına ulaşım için önerilir.
http://www.ssicentral.com/lisrel/index.html	LISREL programına ulaşım için önerilir.
http://www.uni-muenster.de/SoWi/struktur/	Almanya çalışma grubuna aittir.
http://www.gsu.edu/~mkteer/	SEM analizine yeni başlayanlara önerilir
http://www.sas.com	SAS programına ulaşım için önerilir.
https://crans.r-project.org/web/packages/sem/index.html	R-SEM programına ulaşım için önerilir.
http://lavaan.ugent.be	R lavaan programına ulaşım için önerilir.
www.yapisalesitlik.com/index.php	SEM Türkçe kaynak internet sayfasıdır.

Mplus: Hem sürekli hem de kategorik verilerle çeşitli gizil değişken modellerinin analizleri için kullanılan hazır paket programıdır. Program aşırı gelişmiş, çok seviyeli, gizil sınıf ve karmaşık modeller olarak adlandırılan analizleri yapabilmektedir. Eksik veriler, en çok olabilirlik yöntemi ile tahmin edilebilmektedir (Muthén ve Muthén, 1998; Schreiber, 2008).

Mx: Hem sürekli hem de kategorik değişkenlerle birçok modelin analizi için kullanılan paket programdır. Eksik veriler, en çok olabilirlik yöntemi ile tahmin edilebilmektedir. Bu programda modelin analizi, program arayüzünde yazılan komutlar ya da modelin çizilmesi ile mümkün olmaktadır (Reisinger ve Turner, 1999; Schumacker ve Lomax, 2004; Schreiber, 2008; İlhan ve Çetin, 2014).

AMOS: Herhangi bir teorik modelin komutlar ile yazılarak ya da modelin çizilerek belirlendiği analizler için kullanılan paket programdır. Normal olmayan veriler için tahmin edici mevcuttur fakat ordinal veriler tahmin edilmemektedir. Programın özelliği, sayısal veri olmadan sayısal bir sonuç verebilmesidir. İstatistik analiz programı SPSS

için arayüz programı olarak mevcuttur (Reisinger ve Turner, 1999; Schumacker ve Lomax, 2004; Schreiber, 2008; İlhan ve Çetin, 2014).

EQS: Çeşitli modellerin belirlenmesinde kullanılan paket programıdır. Model çizilerek, program dilini kullanarak ya da senaryo kurularak model belirlenebilmektedir. Programın 6.1 versiyonunda, analiz için çok seviyeli modelleme bileşeni eklenmiştir. Programda, veri girişi ve analiz bileşeni de mevcuttur (Reisinger ve Turner, 1999; Schumacker ve Lomax, 2004; Schreiber, 2008; İlhan ve Çetin, 2014).

CALIS: İstatistik Analiz Yazılımı (SAS) programına ek olarak geliştirilen paket programdır. Diğer paket programlara göre daha küçük model çeşitleri üzerinde etkin biçimde kullanılmaktadır. Programlama komutları, verileri ve modeli açıklayan tipleri, LISREL ve EQS ile hemen hemen örtüşmektedir (Reisinger ve Turner, 1999; Schumacker ve Lomax, 2004; Schreiber, 2008; İlhan ve Çetin, 2014).

LISREL: Çeşitli verileri ve modelleri analiz edebilen programdır. PRELIS, LISREL ve SIMPLIS olmak üzere üç bileşene sahiptir. PRELIS veri toplama programı olarak LISREL için gerekli matrisleri hazırlamaktadır. SIMPLIS bileşeni ile komut yazılabilmekte ve model çizilerek analiz yapılabilmektedir. Bu işlemde, araştırmacı gözlenen ve gizil değişkenleri adlandırmakta, sonrasında denklem benzeri ifadelerle analiz adımları belirlenmektedir (Reisinger ve Turner, 1999; Schumacker ve Lomax, 2004; Schreiber, 2008; İlhan ve Çetin, 2014).

3. ÇOK SEVİYELİ YAPISAL EŞİTLİK MODELLEMESİ

Bu bölümde çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi, temel kavramları, teorik yapısı, analiz uygulama adımları, model tahmin yöntemleri, çok seviyeli yol analizi, çok seviyeli faktör analizi ve Mplus Paket Programı tanıtımı konuları ele alınacaktır.

3.1. Temel Kavramlar

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi (MSEM), çok seviyeli modellerin kümelenmiş yapısını modelleyerek bağımsız değişkenler ile çok seviyeli verilere yapısal eşitlik modelleri uygulamak üzere geliştirilen bir tekniktir (Ryu, 2011). Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde, yapısal eşitlik modellemesi ile çok seviyeli modeller eşanlı olarak birleştirilmektedir. Çok seviyeli modelleri kullanmak için birincil şart, grup seviyesindeki değişkenlerin sabit etkilerinin incelenmesi gerekmektedir (Depaoli ve Clifton, 2015). Sosyal bilimler, psikoloji araştırmaları, kültürler-arası araştırmalar gibi karmaşık veri yapısına sahip modellerin analizinde kullanılan çok seviyeli bir istatistiksel analiz tekniğidir (Peugh ve Enders, 2010; Davidov ve ark., 2012; Hox ve ark., 2012; Holtmann ve ark., 2016). Karmaşık yapıdaki veriler ile iç içe geçmiş ya da kümelenmiş yapı olarak karşılaşılabilmektedir (Hox ve Maas, 2001; Roesch ve ark., 2010). Bu tür verilerin analizinde, SEM'in uzantısı olan MSEM'in kullanılması önerilmektedir.

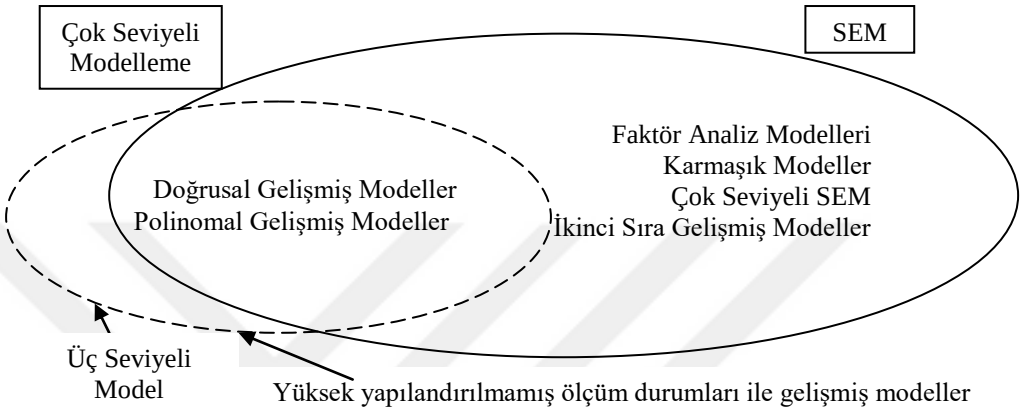
Çok seviyeli verilerin analizinde, çok seviyeli modellemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Çok seviyeli modelleme bağımsızlık varsayımını göz ardı etmediğinden, tutarlı istatistiksel çıkarımlar yapmaktadır (Ryu, 2014).

MSEM, hiyerarşik verilerin ve içinde bulunan bireylerin bir sistemi olarak görülmektedir. Bundan dolayı, veri kümesi grup içi ve gruplar arası seviyeye ayrıştırılmaktadır (Kaplan, 2008). Gruplar arası seviye (seviye 2); ülkeler, okullar, fakülteler, bölgeler, sınıflar gibi kavramları içermektedir. Grup içi seviye (seviye 1); gruplar arası seviyedeki kavramların içinde bulunan bireyleri (öğrenci, öğretmen, işçi vs.) göstermektedir. Yapılan analizlerde başarı, benlik kavramı, katılım ve kalıcılık gibi ölçülerin sonuçları iki seviyeli şekilde incelenmektedir (Muthén ve ark., 1997; Rabe-Hesketh ve ark., 2004; Can ve ark., 2010; Morin ve ark., 2014).

Hiyerarşik veri kümesinde, grup içi ve gruplar arası seviyedeki değişkenliği yok saymak, yanlı ve tutarsız parametre tahminlerine neden olacaktır. Bunun yanı sıra, grup sayısının ve örneklem büyüklüğünün küçük olduğu çok seviyeli yapısal eşitlik modellerinde yakınsaklık sorunları ortaya çıkmakta, model karmaşıklığının artması ile

tahmin hesaplama açısından analizler zorlaşmaktadır (Roesch ve ark., 2010; Depaoli ve Clifton, 2015; Holtmann ve ark., 2016). MSEM, teorik modelin uyum iyiliğini değerlendirmek ve elde edilen modeldeki parametreleri tahmin etmek üzere iki kavram altında ele alınmaktadır (Ryu, 2014).

Çok seviyeli modelleme çerçevesinden daha esnektir. Bu durum Şekil 3.1'de gösterilmiştir (McNeish, 2017).



Şekil 3.1. Çok seviyeli modelleme ile yapısal eşitlik modellemesinin şema gösterimi

Şekil 3.1'de, (- - -) ile gösterilen alan, çok seviyeli regresyon çerçevesini ya da Cheung (2013) tarafından geliştirilen kısıtlı modelleri göstermektedir (McNeish, 2017).

Toplum, doğada karmaşık ve çok seviyeli bir yapıya sahiptir. Bu yapı genellikle; ayrıştırma, birleştirme ve çok seviyeli modeller yaklaşımı ile analiz edilmektedir.

Ayrıştırma Yaklaşımı: Elde edilen verilere faktör analizi uygulanarak ayrıştırma işlemi yapılmaktadır. Bu yaklaşımda, 1. Tip hata yapma olasılığı yüksek olduğundan ve rasgele örnekleme varsayımı ihlal edildiğinden çok fazla tercih edilmemektedir (Cheung ve Au, 2005).

Birleştirme Yaklaşımı: Bireysel seviyede toplanan veriler gruplanarak verilmektedir. Örneklem boyutunun bireysel düzeydeki örneklem boyutundan küçük olması, elde edilen verilerin grupları doğru ifade edememesi ve elde edilen verilerden alınan bilgilerin bireysel seviyedeki varyasyonları göz ardı etmesi gibi temel sorunlar barındırdığından çok fazla tercih edilmemektedir (Cheung ve Au, 2005).

Çok Seviyeli Modeller Yaklaşımı: MSEM, iç içe geçmiş verilerde çok seviyeli model ile regresyon modelinin birleşimi olarak görülmektedir ve SEM'in genelleştirilmiş biçimidir. Bu yaklaşımda modeller birey (grup içi) ve kümeler (gruplar arası) düzeyindeki verileri ve bunların etkilerini içermektedir (Cheung ve Au, 2005).

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde kullanılan örneklem ya da verilerin elde edilmesi oldukça zordur. Bu nedenle, birçok çalışmada simülasyon çalışmaları ve bunlara ek olarak güven aralıkları ile birlikte dolaylı etkilerin önemi vurgulanmıştır.

Simülasyonda kümelenmiş verilerde uygulanan dolaylı etkilerin güven aralığını hesaplamak için üç yöntem önerilmektedir (McNeish, 2017).

- *Delta yöntemi:* Standart hatayı ve dolaylı etkinin güven aralığını hesaplamak için kullanılan kapalı formdaki çözüm kolaylığı nedeniyle oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.
- *Çarpım yöntemi:* Dolaylı etkilerin örnekleme dağılımını hesaplamak için yeniden örnekleme tekrarı gerektirmeden kullanılan analitik bir yöntemdir.
- *Monte Carlo yöntemi:* İstatistiksel teknikler kullanarak bir deneyi veya neden-sonuç ilişkisine dayalı olayı bilgisayar ortamında taklit eden bir yöntemdir. Dolaylı etkilerin örnekleme dağılımını hesaplamak için yeniden örnekleme gerektirdiğinden literatürde yaygın kullanılmakta ve ham verilere ihtiyaç duymamaktadır.

Varsayım ve Örneklem: Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinin temel varsayımları normallik, doğrusalllık ve varyans homojenliğidir. Varsayımların gerçekleşmediği durumlarda modelde çeşitli düzeltmeler yapılarak analize devam edilmesi gerekir (Aydın, 2016). MSEM için dikkat edilmesi gereken bir başka önemli unsur ise, örneklem büyüklüğüdür. Küçük örneklem büyüklükleri, modelin yanlış kurulmasına ve parametre tahminlerinin yanlış yapılmasına, dolayısıyla elde edilecek analiz sonuçlarının yanlış yorumlanmasına neden olabilir. Birçok çalışmada, örneklem büyüklüklerini belirlemek için simülasyon çalışması yapılmıştır. Holtmann ve ark. (2016), Lee ve Song (2004) tarafından yapılan simülasyon çalışmalarında, en çok olabilirlik tahmini için örneklem büyüklüğünün parametre sayısının en az 4 ya da 5 katı gözlem içermesi gerektiği, Bayes tahmini için yeterli sayının 2-3 katı kadar olması gerektiği önerilmiştir. Koch ve ark. (2014), tutarlı parametre tahminlerini elde etmek için beş parametre karşılığında 100 örneklem büyüklüğü gerektiğini göstermişlerdir. Depaoli ve Clifton (2015) tarafından yapılan simülasyon çalışmasında, klasik tahmin yöntemlerine kıyasla Bayesci tahmin yönteminin küçük örneklemlerde daha az yakınsama problemi ortaya çıkardığı gösterilmiştir. Sonuç olarak, gruplar arası düzeyde örneklem genişliğinin en az 100 olması gerektiği ifade edilmiştir. Fakat yapılan birçok araştırmada örneklem sayısının ortalama 20 ile 40 arasında olduğu görülmektedir (Cheung ve Au, 2005; McNeish, 2017).

Çok Seviyeli Arabuluculuk: Arabulucu ya da gizil değişkenleri içeren modeller için geliştirilen çok seviyeli arabuluculuk yöntemi, MSEM'de, karmaşık modellerin analizinde uygulanan ve istatistiksel analizi kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Arabuluculuk yöntemi, kümelenmiş verilerin kullanımını engelleyen bağımsızlık varsayımı için sorun teşkil etmektedir (Preacher, 2011; Preacher ve ark., 2011; Depaoli ve Clifton, 2015; McNeish, 2017). Fakat çok seviyeli modellerin uyarlanmasından dolayı bu sorun ortadan kalkmaktadır. Çok seviyeli arabuluculuk modelleri; 1-1-1, 1-1-2, 1-2-1, 1-2-2, 2-1-1, 2-1-2, 2-2-1 ve 2-2-2 şeklinde olmaktadır. Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde en çok kullanılan arabuluculuk modeli 2-1-1 ve 1-1-1 modeli olarak bilinmektedir (McNeish, 2017).

En çok kullanılan 2-1-1 arabuluculuk modeli için ölçüm modeli ve yapısal model,

Seviye 1 ölçüm modeli: $Y_{ij} = \nu_j + \Lambda_j \eta_{ij} + K_j X_{ij} + \varepsilon_{ij}$ (3.1)

Seviye 1 yapısal model: $\eta_{ij} = \alpha_j + B_j \eta_{ij} + \Gamma_j X_{ij} + \zeta_{ij}$ (3.2)

Seviye 2 yapısal model: $\eta_j = \mu + B\eta_j + yX_j + \zeta_j$ (3.3)

olarak ifade edilmektedir (Preacher ve ark., 2011; McNeish, 2017). Eşitlik (3.1), Eşitlik (3.2) ve Eşitlik (3.3)'te, ($\varepsilon_{ij}, \zeta_{ij}, \zeta_j$), artık terimleri çok değişkenli normal dağılır ve bağımsızdır. Y_{ij}, tüm içsel ölçüm değişkenlerini içeren bir vektördür. X_{ij}, seviye 1 dışsal ölçüm değişkenlerini gösterir. X_j, *j*. seviye dışsal ölçüm değişkenlerini göstermektedir (Preacher ve ark., 2011).

Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı (ICC): Elde edilen veriler için gözlemler arasındaki ilişkinin ölçümünü verir ve gruplar içerisindeki gözlemlerin homojenliğini ya da birbirinden bağımsızlığını gösterir. ICC, 0-1 arasında değişmektedir (Dedrick ve Greenbaum, 2011). Gözlemler arasında bağımlılık söz konusu olduğunda ya da sınıf içi korelasyon katsayısı ≥ 0.05 olduğunda çok seviyeli analize ihtiyaç duyulmaktadır (Can ve ark., 2011). Sınıf içi korelasyon katsayısı (ρ),

$$\rho = \sigma_b^2 / (\sigma_b^2 + \sigma_w^2) \quad (3.4)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada, σ^2_b gruplar arası varyansı, σ^2_w grup içi varyansı göstermektedir (Can ve ark., 2011; Depaoli ve Clifton, 2015).

MSEM'de, modelin her seviyesindeki faktör yükleri, varyanslar ve artık varyansların bir fonksiyonu olarak sınıf içi korelasyon katsayısı (ρ_k),

$$\rho_k = (\lambda_{Bk}^2 \times \Psi_B + \Theta_B) / [(\lambda_{Bk}^2 \times \Psi_B + \Theta_B) + (\lambda_{Wk}^2 \times \Psi_W + \Theta_W)] \quad (3.5)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada, λ faktör yüklerini, Ψ kovaryans matrisini ve Θ hata kovaryans matrisini göstermektedir (Depaoli ve Clifton, 2015).

3.2. Teorik Yapı

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi (MSEM) üzerine, ilk çalışma Schmidt (1969) tarafından gerçekleştirilmiştir (Kaplan ve Elliott, 1997). Çalışmasında, çok seviyeli kovaryans yapıları modelini en çok olabilirlik yöntemi ile tahmin etmiş ancak bunu grup seviyesindeki diğer değişkenleri dahil etmeden yapmıştır (Can, 2012). Bu çalışmadaki yöntemi kullanarak Cronbach ve Webb (1975) ve Harnqvist (1978) eğitim araştırması verilerini yeniden analiz etmişlerdir (Du Toit ve Du Toit, 2008; Kaplan, 2008; Can, 2012). Daha sonra Muthén ve Satorra (1989) ve Longford ve Muthén (1992) MSEM çalışmalarında, çok seviyeli kovaryans yapıları üzerine analizlerin tahmin edilmesi için sayısal hesaplamalar geliştirilerek paket programlara katkıda bulunmuşlardır (Kaplan, 2008).

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi, literatürde aşamalı doğrusal modelleme, tesadüfi katsayılı modelleme ve çok düzeyde modelleme olarak da bilinmektedir (Acar ve Öğretmen, 2012).

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde değişkenler için grup içi (Seviye 1) ve gruplar arası (Seviye 2) terimleri tanımlanmaktadır. MSEM, bağımlı değişkenlerdeki varyans-kovaryans matrisini, hiyerarşik veri yapısının her seviyesi için eş zamanlı olarak açıklamayı amaçlamaktadır (Rabe-Hesketh ve ark., 2007; Kaplan, 2008; Can, 2012).

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde örneklem; ilk olarak grup evreninden rasgele çekilerek grupların birbirinden bağımsız olması, ikinci olarak grup içerisindeki bireylerin rasgele çekilerek bireylerin birbirinden bağımsız olması koşulu altında elde edilmektedir. MSEM'de teorik yapı, değişkenlerin bileşenlerine ayrılması

ile SEM'deki teorik yapının grup içi ve gruplar arası bileşenler olarak ifade edilmesi ile sağlanmaktadır (Hox, 2002; Kaplan, 2008; Can, 2012). Can (2012), Cronbach ve Webb (1975) yaptıkları çalışmada değişkenleri bileşenlerine ayırmayı önermişler ve bu bileşenlerin bağımsız olduğunu aynı zamanda da toplanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Veri kümesinde *g (g=1,...,G)* grupta yer alan *i (i=1,...,n)* bireyden oluşan örneklem olduğu varsayılsın. Bu veri kümesinden oluşan (nx1) boyutlu Y_{ig} vektörü, her bireyin gözlenen puanının göstermektedir. Grup içi ve gruplar arası ayrışma,

$$Y_{ig} = \bar{Y} + Y_B + Y_W \tag{3.6}$$

$$Y_B = \bar{Y} - \bar{Y}_g \tag{3.7}$$

$$Y_W = \bar{Y}_g - Y_{ig} \tag{3.8}$$

olarak ifade edilmektedir. Burada,

$\bar{Y}$: genel ortalama puanını,

$(\bar{Y} - \bar{Y}_g)$: bireyin bulunduğu grubun ortalamasının genel ortalamadan sapmasını,

$(\bar{Y}_g - Y_{ig})$: her bir bireyin gözlenen puanının bulunduğu grup ortalamasından sapmasını,

Y_B : gruplar arası bileşeni,

Y_W : grup içi bileşeni göstermektedir (Muthén, 1991; Hox, 1995; Hox ve Maas, 2001; Hox, 2002).

Kitle kovaryans matrisi de grup içi ve gruplar arası bileşenlerine ayrılabilmektedir. Bu ayrışma,

$$\Sigma_T = \Sigma_B + \Sigma_W \tag{3.9}$$

olarak ifade edilmektedir. Burada,

Σ_T : grup ortalamalarından oluşan toplam kitle kovaryans matrisini,

Σ_B : gruplar arası kitle kovaryans matrisini,

Σ_W : grup içi kitle kovaryans matrisini göstermektedir (Muthén, 1991; 1994).

Örneklem kovaryans matrisi de grup içi ve gruplar arası bileşenlerine ayrılabilmektedir. Bu ayrışma,

$$S_T = S_B + S_W \tag{3.10}$$

olarak ifade edilmektedir. Burada,

S_T : toplam örneklem kovaryans matrisini,

S_B : gruplar arası örneklem kovaryans matrisini,

S_W : grup içi örneklem kovaryans matrisini göstermektedir (Muthén, 1991; 1994; Muthén ve ark., 1997).

MSEM, SEM'de olduğu gibi ölçüm modelini ve yapısal modeli içermektedir. Veri, hiyerarşik yapısındaki durumunu ölçüm modeline yansıttığından üç bileşenli ayrışma,

$$X_{ig} = \nu_X + \Lambda_X \xi_{ig} + \delta_{ig} \tag{3.11}$$

$$Y_{ig} = \nu_Y + \Lambda_Y \eta_{ig} + \varepsilon_{ig} \tag{3.12}$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (3.11) ve Eşitlik (3.12)'de,

ξ_{ig} : dışsal gizil değişkeni,

η_{ig} : içsel gizil değişkeni,

δ_{ig} : dışsal gizil değişkenle ilgili hatayı,

ε_{ig} : içsel gizil değişkenle ilgili hatayı göstermektedir (Muthén, 1994; Kaplan ve Elliott, 1997; Heck, 2001; Peugh ve Enders, 2010).

Gizil değişkenler ile hatalar, gruplar için farklılaşmakta ve bu yüzden bileşenlerine ayrılabilmektedir. Bu ayrışma,

$$\xi_{ig} = \alpha_\xi + \xi_{Bg} + \xi_{Wig} \tag{3.13}$$

$$\eta_{ig} = \alpha_\eta + \eta_{Bg} + \eta_{Wig} \tag{3.14}$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (3.13) ve Eşitlik (3.14)'te,

(α_ξ, α_η): genel ortalamayı,

(ξ_{Bg}, η_{Bg}): kesim noktası ya da ortalamaların gruplar arasındaki değişkenliği içeren rasgele gizil değişkenleri,

(ξ_{Wig}, η_{Wig}): bireylerin puanlarındaki değişkenliği içeren rasgele gizil değişkenleri göstermektedir (Muthén, 1994; Kaplan ve Elliott, 1997; Heck, 2001; Peugh ve Enders, 2010).

Hatalardaki değişkenlik için ayrışma,

$$Var(\delta_{ig}) = Var(\delta_{Bg}) + Var(\delta_{Wig}) \quad (3.15)$$

$$Var(\varepsilon_{ig}) = Var(\varepsilon_{Bg}) + Var(\varepsilon_{Wig}) \quad (3.16)$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (3.15) ve Eşitlik (3.16)'da,

($\delta_{Bg}, \varepsilon_{Bg}$): sırasıyla gruplar arasındaki dışsal ve içsel değişkenle ilgili hatayı,

($\delta_{Wig}, \varepsilon_{Wig}$): sırasıyla grup içindeki dışsal ve içsel değişkenle ilgili hatayı göstermektedir (Hox, 2002).

Eşitlik (3.13) ve (3.14), Eşitlik (3.11) ve (3.12)'de yerine konduğunda,

$$\mathrm{X}_{ig} = [\nu + \Lambda\alpha_\xi] + [\Lambda\xi_{Bg} + \delta_{Bg}] + [\Lambda\xi_{Wig} + \delta_{Wig}] \quad (3.17)$$

$$\mathrm{X}_{ig} = [\nu + \Lambda\alpha_\xi] + [\Lambda\xi_{Bg} + \delta_{Bg}] + [\Lambda\xi_{Wig} + \delta_{Wig}] \quad (3.18)$$

eşitlikleri elde edilmektedir. Eşitlik (3.17)'de verilen $[\nu + \Lambda\alpha_\xi]$ ve Eşitlik (3.18)'de verilen $[\nu + \Lambda\alpha_\xi]$, modelin tanımlanamamasına neden olmaktadır (Bollen, 1989; Kaplan, 2008). Bollen (1989) tarafından yapılan çalışmada, modelin tanımlanamamasına artan parametre sayısının neden olduğu belirtilmiştir. Modelin tanımlı olabilmesi için gizil değişken ortalamaları sıfıra eşitlenerek modeli tanımlı yapan ölçüm modelleri,

$$\mathrm{X}_{ig} = \nu_X + \Lambda_B\xi_{Bg} + \delta_{Bg} + \Lambda_W\xi_{Wig} + \delta_{Wig} \quad (3.19)$$

$$Y_{ig} = \nu_Y + \Lambda_B\eta_{Bg} + \varepsilon_{Bg} + \Lambda_W\eta_{Wig} + \varepsilon_{Wig} \quad (3.20)$$

olarak elde edilmektedir. Eşitlik (3.19) ve Eşitlik (3.20)'de,

ν_X : dışsal gizil değişkenin genel ortalamasını,

ν_Y : içsel gizil değişkenin genel ortalamasını,

Λ_B: gözlenen değişkenleri gruplar arası düzeyde gizil değişkenlerle ilişkilendiren faktör yükleri matrisini,

Λ_W : gözlenen değişkenleri grup içi düzeyde gizil değişkenlerle ilişkilendiren faktör yükleri matrisini,

δ_{Wig} : dışsal gizil değişkenlerin hata vektörünü,

ε_{Wig} : içsel gizil değişkenlerinin hata vektörünü göstermektedir (Bollen, 1989; Muthén, 1991; 1994; Peugh ve Enders, 2010).

Goldstein ve McDonald (1988) tarafından yapılan çalışmada, her veri seviyesinde ortak bir faktör modelinin tahmin edilmesi önerilmiştir (Gottfredson ve ark., 2009). Hox ve Maas (2001), Muthén (1994) tarafından yapılan çalışmalarda hem gruplar arası hem de grup içi kitle kovaryans matrisi bileşenlerine ayrılarak gösterilmiştir. Bu ayrışma,

$$\Sigma_{\theta(PW)} = \Lambda_W \Phi_W \Lambda_W{}' + \Theta_W \quad (3.21)$$

$$\Sigma_{\theta(B)} = \sqrt{c}\Lambda_B \Phi_B \Lambda_B{}' \sqrt{c} + \Theta_B \quad (3.22)$$

eşitlikleri ile ifade edilmektedir. Eşitlik (3.21) ve Eşitlik (3.22)'de,

c: ortak grup büyüklüğünü,

Φ_W : grup içi seviyedeki gizil değişken kovaryans matrisini,

Θ_W : grup içi seviyedeki hata varyansı matrisini,

Φ_B : gruplar arası seviyedeki gizil değişken kovaryans matrisini

Θ_B : gruplar arası seviyedeki hata varyansı matrisini göstermektedir (Muthén, 1991; 1994; Muthén ve ark., 1997).

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde grup içi ve gruplar arası önerilen ayrışma ile yapısal modeller de bileşenlerine ayrışmaktadır. Bu ayrışma,

$$\eta_{Wgi} = B_W \eta_{Wig} + \zeta_{Wig} \quad (3.23)$$

$$\eta_{Bg} = \alpha_g + B_B \eta_{Bg} + \zeta_{Bg} \quad (3.24)$$

eşitlikleri ile ifade edilmektedir. Eşitlik (3.23) ve Eşitlik (3.24)'te,

B: yapısal regresyon katsayılarını,

ζ : artık terimlerin vektörünü,

α_g : (rasgele) kesim noktalarından oluşan vektörü göstermektedir (Hox, 1995; Heck, 2001; Hox, 2002).

Verilen matris ifadeleri genelleştirildiğinde, genel çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi elde edilmekte ve,

$$Y_{ig} = \alpha_g + B_Y Y_{ig} + \varepsilon_{ig} \quad (3.25)$$

$$Y_{ig} = \alpha_g + B_Y Y_{ig} + \Gamma_X X_{ig} + \varepsilon_{ig} \quad (3.26)$$

eşitlikleri ile ifade edilmektedir (Muthén, 1994; Kaplan ve Elliott, 1997; Erşan, 2016). Eşitlik (3.25)'de sadece doğrudan etkilerin, Eşitlik (3.26)'da ise doğrudan ve dolaylı etkilerin incelenebildiği çok seviyeli yapısal eşitlik modelini göstermektedir.

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde,

Grup içi (Seviye 1),

$$y_{ij} = B_{0j} + r_j \quad (3.27)$$

Gruplar arası (Seviye 2),

$$B_{0j} = y_0 + u_{0j} \quad (3.28)$$

eşitlikleri ile ifade edilmektedir. Eşitlik (3.27) ve Eşitlik (3.28)'de,

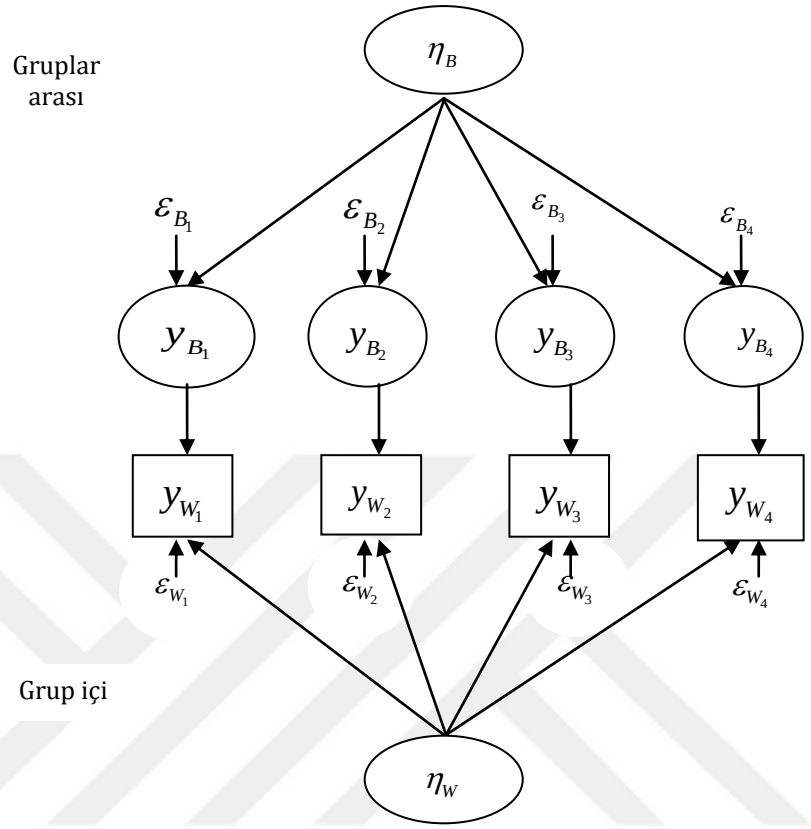
B_{0j} : j. sınıf için y_{ij} değişkeninin ortalamasını,

r_j: ortalaması sıfır, varyansı σ^2 olan hatayı,

u_{0j} : sıfır ortalamalı rasgele etkiyi,

y_{ij}: gözlemlere ait sonuç değişkenini temsil etmektedir (Acar ve Öğretmen, 2012).

Şekil 3.2’de, çok seviyeli yapısal eşitlik modelinin yol diyagramı grup içi ve gruplar arası yapısıyla birlikte verilmektedir.



Şekil 3.2. Çok seviyeli yapısal eşitlik modelinin yol diyagramı

Şekil 3.2’de verilen tek faktörlü çok seviyeli yapısal eşitlik modelinin yol diyagramında,

(y_{W_1} - y_{W_4}): gözlenen değişkenler katılımcı (birey) puanlarını,

η_W : grup içi gizil değişkeni ya da faktör yükünü,

(y_{B_1} - y_{B_4}): gözlenen her (y_{W_1} - y_{W_4}) için grup ortalamasını,

η_B : gruplar arası gizil değişkeni ya da faktör yükünü,

(ε_{B_1} - ε_{B_4}), (ε_{W_1} - ε_{W_4}): rastgele hata terimlerini göstermektedir (Dyer ve ark., 2005; Can ve ark., 2011).

3.3. Uygulama Adımları

Yapısal eşitlik modellemesi ile çok seviyeli modellerin birleşmesinden elde edilen, grup içi ortak kovaryans matrisi (S_{PW}), gruplar arası kovaryans matrisi (S_B) ve toplam kovaryans matrisi ($S_T = S_{PW} + S_B$),

$$S_T = \sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{N_g}(Y_{ig} - \bar{Y})'(Y_{ig} - \bar{Y}) / N - 1 \quad (3.29)$$

$$S_{Pw} = \sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{N_g}(Y_{ig} - \bar{Y}_g)'(Y_{ig} - \bar{Y}_g) / N - G \quad (3.30)$$

$$S_B = \sum_{g=1}^{G} N_g(\bar{Y}_g - \bar{Y})'(\bar{Y}_g - \bar{Y}) / \mathrm{G} \quad (3.31)$$

eşitlikleri ile verilir. Eşitlik (3.29), Eşitlik (3.30) ve Eşitlik (3.31)'de,

G: grup ya da küme sayısını,

N_g: grup içindeki birey sayısını,

$\bar{Y}_g$: grubun ortalama vektörünü,

$\bar{Y}$: bütün örneklemin ortalama vektörünü

g: grup bileşenini

i: birey bileşenini göstermektedir (Muthén, 1994; Peugh ve Enders, 2010; Can ve ark., 2011).

MSEM için uygulama adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Kayıp veri sorunun aşılması, sınıf içi korelasyon katsayısının belirlenmesi gibi temel analizlerin yapıldığı adımdır. Grup içi ve gruplar arası kovaryans matrislerine ait sınıf içi korelasyon katsayısı tahmin edilmektedir (Muthén, 1994; Hox, 1995; Hox, 2002; Dyer ve ark., 2005; Çoker, 2009).

Adım 2: Tahmin edilen sınıf içi korelasyon katsayıları, değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkisini vermektedir. Tüm gruplar arası değişkenler için varyans sıfır olduğunda ($\sigma_B^2 = 0$), varyans-kovaryans matrisi de sıfıra eşit olacaktır ($\Sigma_B = 0$). Bu durumda, çok seviyeli analize ihtiyaç duyulmayacaktır. Bu adımdan sonra analize devam edebilmek için sınıf içi korelasyon katsayısının 0,05'ten büyük olması gerekmektedir. Sınıf içi korelasyon katsayısı 0-1 arasında değişmektedir (Muthén, 1994; Hox, 1995; Hox, 2002; Dyer ve ark., 2005; Çoker, 2009).

Adım 3: Yansız ve tutarlı bir tahmin edici olan grup içi kovaryans matrisi (S_{PW}) Eşitlik (3.30)'da gösterilmektedir. Tahmin edilen grup içi model için belirlenen S_{PW}'nin tutarlı olması ve grup içi model uyumunu sağlaması halinde Adım 4'e geçilmektedir. Tahmin edilen grup içi modelin uyumunun sağlanmadığı durumda, model düzeltme işlemi başlatılarak iyi uyum elde edilene kadar devam edilmelidir (Muthén, 1994; Hox, 1995; Hox, 2002; Dyer ve ark., 2005; Çoker, 2009).

Adım 4: Bu adımda, gruplar arası model uyumu incelenmektedir. S_B'nin değerleri sadece gruplar arası kitle kovaryans matrisinin bir fonksiyonu değildir. Aynı zamanda, grup büyüklüğü miktarını ve grup içi etkiyi **$(g^{-1}(S_B - S_{PW}))$** de yansıtmaktadır (Muthén, 1994; Hox, 1995; Hox, 2002; Dyer ve ark., 2005; Çoker, 2009).

Adım 5: Gruplar arası ve grup içi modelinin birlikte analizinin yapıldığı bu adımda, Adım 3 ve Adım 4'te elde edilen grup içi ve gruplar arası kovaryans matrislerine ait modelin uyumunun iyi ya da olumlu sonuçlanması gerekmektedir. Verilerin çok seviyeli doğası dikkate alınarak elde edilen tahminlerin standart hataları, genellikle Adım 3 ve Adım 4'te elde edilen standart hatalara göre daha düşük olacaktır (Muthén, 1994; Hox, 1995; Hox, 2002; Dyer ve ark., 2005; Çoker, 2009).

Günümüzde, bu adımlar bilgisayar paket programları aracılığıyla daha kolay şekilde uygulanmaktadır. MSEM'de, hiyerarşik veri kümesi için en çok kullanılan paket programı olan Mplus ile tutarlı ve doğru analiz sonuçları elde edilmektedir (Muthén ve Muthén, 1998).

3.4. Model Tahmini

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde, model tahmini için iki temel yaklaşım vardır. Bunlardan ilki tam bilgi en çok olabilirlik tahmini (FIML), ikincisi ise Muthên'in en çok olabilirlik tahmini (MUML) olarak bilinmektedir.

Tam bilgi en çok olabilirlik tahmini (FIML)

İstatistiksel yöntemlerde parametre tahmini için en çok kullanılan yöntem olan en çok olabilirlik tahmin yöntemi, büyük örneklemler üzerinde bağımsızlık varsayımını en iyi şekilde değerlendirmekte ve rasgele etkiler üzerinde uyum sağlamak için kullanılmaktadır (Gottfredson ve ark., 2009; Hox ve ark., 2012).

G (g=1,2,...,G) gruplarında iç içe geçmiş *N* bireyden *(i=1,2,...,N)* veri toplandığını varsayalım. Birinci seviyede bireysel düzeydeki gözlemler, her küme içerisinde birbirinden bağımsızdır ancak gruplar arasında bağımsız değildir. İkinci seviyede gruplardan alınan gözlemler birbirinden bağımsızdır.

Grup içi ve gruplar arası rasgele bileşenler,

$$y_{ig} = \mu + y_{Bg} + y_{Wig} \tag{3.32}$$

$$E(y_{Bg}) = E(y_{Wig}) = 0 \tag{3.33}$$

eşitliği ile verilir. Eşitlik (3.32)'de ortalama ve kovaryans yapısı,

$$E(\mathrm{y}_{ig}) = \mu \tag{3.34}$$

$$\mathrm{cov}(\mathrm{y}_{ig}) = \mathrm{cov}(y_{Bg}) + \mathrm{cov}(y_{Wig}) \tag{3.35}$$

$$\Sigma_y = \Sigma_B + \Sigma_W \tag{3.36}$$

olarak ifade edilmektedir. Burada; $\Sigma_B(\theta)$, gruplar arası kovaryans yapısını, $\Sigma_W(\theta)$, grup içi kovaryans yapısını, $\mu(\theta)$, ortalamayı ve θ, kurulan modeldeki parametre vektörünü göstermektedir (Ryu, 2014).

Birinci seviye ve ikinci seviye rasgele bileşenlerinin her biri için çok değişkenli normallik varsayımı altında en çok olabilirlik (ML) çözümü,

$$F_{ML} = \sum_{g=1}^{G}[\log\left|\Sigma_{ig}(\theta)\right| + tr(\Sigma_{ig}^{-1}(\theta)S_{Bg})]$$
$$+\sum_{g=1}^{G}(n_g - 1)[\log\left|\Sigma_W(\theta)\right| + tr(\Sigma_W^{-1}(\theta)S_{Wg})] \tag{3.37}$$

olarak elde edilir. Eşitlik (3.37)'de, n_g gruptaki birey sayısını göstermek üzere,

$$S_{Bg} = n_g(\overline{\mathrm{y}}_g - \overline{y})(\overline{y}_g - \overline{y})' \tag{3.38}$$

$$S_{Wg} = (n_g - 1)^{-1}(y_{ig} - \overline{y}_g)(y_{ig} - \overline{y}_g)' \tag{3.39}$$

$$\overline{y}_g = n_g^{-1}\sum_{g=1}^{n_g} y_{ig} \tag{3.40}$$

$$\overline{y} = N^{-1}\sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{n_g} y_{ig} \tag{3.41}$$

$$\Sigma_{ig}(\theta) = \Sigma_W(\theta) + n_g\Sigma_B(\theta) \tag{3.42}$$

ile verilir (Muthén, 1994; Ryu, 2014).

Tüm g için n_g= n olduğu mükemmel denge durumunda, en çok olabilirlik çözümü,

$$F_{ML} = G[\log|\Sigma_{ig}(\theta)| + tr(\Sigma_{ig}^{-1}(\theta)S_{Bg})] + (N-G)[\log|\Sigma_W(\theta)| + tr(\Sigma_W^{-1}(\theta)S_{Wg})] \tag{3.43}$$

olarak ifade edilmektedir (Ryu, 2014).

Tam bilgi en çok olabilirlik tahmini, kesim noktası ve eğimlerin grup düzeyindeki varyasyonunu modele dâhil edebilen, her bir değişken için hiyerarşik veri modellerini doğrudan modelleyebilen bir yaklaşımdır (Hox ve ark., 2012). Bu yaklaşım, verilerin çok değişkenli normal dağılıma sahip olduğunu varsayarak, verilerin analizinde tutarlı parametre tahminleri elde etmektedir (Ryu, 2011; Hox ve ark., 2012). Ayrıca normallik varsayımı altında modelin verilere uyup uymadığının testini sağlayan olabilirlik oranı test istatistiğini göstermektedir (Holtmann ve ark., 2016).

Tam bilgi en çok olabilirlik tahmin yöntemi,

$$F_{IML} = \sum_{g=1}^{G}\left\{\ln|\Sigma_B + N_g^{-1}\Sigma_W| + tr\left[(\Sigma_B + N_g^{-1}\Sigma_W)^{-1}(\bar{y}_g - \mu)(\bar{y}_g - \mu)'\right]\right\} + (N-G)\left\{\ln|\Sigma_W| + tr\left[(\Sigma_W)^{-1}S_{PW}\right]\right\} \tag{3.44}$$

fonksiyonunu minimum yapmaktadır (Çoker, 2009).

Tam bilgi en çok olabilirlik yöntemi, dengeli veri durumunda Muthên'in en çok olabilirlik tahminine eşit ya da çok yakın sonuç vermektedir. Modelde kullanılacak değişken tiplerinin ya da veri kümesindeki değişkenlerin çeşitleri bakımından geniş bir alanı kapsadığından ve daha güçlü tahmin yaptığından tam bilgi en çok olabilirlik tahmin yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Çoker, 2009; Holtmann ve ark., 2016).

Muthên'in en çok olabilirlik tahmini (MUML)

Muthên (1989) tarafından parametre tahmini için önerilen Muthên'in en çok olabilirlik tahmini (MUML), sınırlı bilgi tahminine yol açan grupların örneklemlerinin

eşitliğini varsayarak tam bilgi en çok olabilirlik tahmin edicisine yakın değerler veren bir yöntemdir (Hox ve Maas, 2001).

Çok seviyeli yapısal eşitlik modeli parametrelerinin tahmini için Muthên (1989) tarafından üç kovaryans matrisini belirtilmiştir. Toplam örneklem kovaryans matrisi (S_T), birleştirilmiş grup içi örneklem kovaryans matrisi (S_{PW}), gruplar arası örneklem kovaryans matrisi (S_B) (Kaplan, 2008). Grup içindeki örneklem sayısı eşit olduğunda, en çok olabilirlik tahmin edicisi elde edilebilir. Birçok uygulamada, dengesiz veri kümeleri ile karşılaşılmaktadır. Bu durumda tam bilgi en çok olabilirlik tahmin edicisi kullanılmaktadır. Muthên'in en çok olabilirlik tahmin edicisi, grup içi örneklem büyüklüğünün eşit olduğunu varsayarak tahmin işlemine devam etmektedir (Hox ve ark., 2012).

Muthên'in en çok olabilirlik tahmin edicisi,

$$F_{MUML} = G\left\{\ln\left|\hat{\Sigma}_W + c\hat{\Sigma}_B\right| + tr\left[\left(\hat{\Sigma}_W + c\hat{\Sigma}_B\right)^{-1} S_B\right] - \ln\left|S_B\right| - p\right\}$$
$$+(N-G)\left\{\ln\left|\hat{\Sigma}_W\right| + tr[(\hat{\Sigma}_W)^{-1} S_{PW}] - \ln\left|S_{PW}\right| - p\right\} \qquad (3.45)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada; S_T, $\hat{\Sigma}_W$ ve $\hat{\Sigma}_B$ toplamlarının tutarlı bir tahmin edicisi; S_{PW}, $\hat{\Sigma}_W$ 'nin yansız bir tahmin edicisi ve S_B, $\hat{\Sigma}_W + c\hat{\Sigma}_B$ toplamlarının tahmin edicisi olarak gösterilmekte ve "c" ölçek faktörü olarak adlandırılmaktadır (Hox ve Maas, 2001; Cheung ve Au, 2005; Kaplan, 2008; Hox ve ark., 2012). Grup örneklem büyüklüklerinin eşit olmaması durumunda, gruplar arası modellerde her farklı örneklem genişliği için farklı "c" ölçek faktörleri yer almaktadır. Yani, S_B için oluşturulacak modellerde ölçek parametresinin tahmin edicisi olarak "c" yer almakta ve

$$c = [N(G-1)]^{-1}\left[N^2 - \sum_{g=1}^{G} N_g^2\right] \qquad (3.46)$$

eşitliği ile verilmektedir (Kaplan, 2008; Çoker, 2009).

3.5. Çok Seviyeli Faktör Analizi

Çok seviyeli faktör analizinde, iç içe geçmiş verilerin faktör yapısı hem grup içi hem de gruplar arası seviyeler için belirlenmektedir (Roesch ve ark., 2010). Faktör

analizi, ölçümlerin güvenilirliğini ve yapı geçerliğini incelemek amacıyla da kullanılmaktadır (Muthén, 1991).

Tüm istatistiksel analizlerde olduğu gibi normallik varsayımı çok seviyeli faktör analizi için de önemli bir husustur. Bağımsızlık varsayımını ihlal etmek, parametre tahminlerini ve standart hataları yanlı yapmakta ve testin gücünü de etkilemektedir. Başka bir ifadeyle, bir ölçeği içeren sorular gerçekten tek boyutlu olsa bile, verilerin iç içe geçmiş yapısı bağımsızlık varsayımını ihlal ettiği için soruların gizil değişkendeki etkisini kaldırdıktan sonra hala korelasyona tabi tutmak zorunda kalacaktır. Bu durumda model tanımlanamayacak ya da parametre tahminleri yanlı çıkacaktır (Dyer ve ark., 2005).

Çok seviyeli faktör analizinde en çok kullanılan yöntem, çok seviyeli doğrulayıcı faktör analizidir. Tek seviyeli doğrulayıcı faktör analizi, gözlenen değişkenlerin varyans-kovaryans matrisini analiz ederken, çok seviyeli doğrulayıcı faktör analizi toplam örnek kovaryans matrisini grup içi ve gruplar arası kovaryans matrisleri içerisinde bir araya getirmektedir. Bu iki matrisi kullanarak her seviyedeki faktör yapısını analiz etmekte ve modeli doğrulamaktadır (Dedrick ve Greenbaum, 2011). Bu durumda, grup içi ve gruplar arası değişkenlerde toplanan bireylerin bağımlı değişken vektörü,

$$y_{ig} = \nu + y_{Bg} + y_{Wg} \tag{3.47}$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (3.47)'de,

y_{ig} : g'inci gruptaki i'inci bireyin açıkladığı değişkeni,

ν : genel grup ortalamasını,

y_{Bg} : gruplar arasındaki bireylerin açıkladığı değişkeni,

y_{Wg} : grup içindeki bireylerin açıkladığı değişkeni göstermektedir (Kaplan, 2008).

Bağımlı değişken y_{ig}'nin ayrıştırılmış bileşenleri olan varyans-kovaryans matrisi,

$$\Sigma_T = \Sigma_B + \Sigma_W \tag{3.48}$$

olarak ifade edilmektedir (Muthén, 1994; Kaplan, 2008). Bu durumda, grup içi ve gruplar arası kitle varyans- kovaryans matrisi,

$$\Sigma_W = \Lambda_W \Phi_W \Lambda'_W + \Theta_W \quad (3.49)$$

$$\Sigma_B = \Lambda_B \Phi_B \Lambda'_B + \Theta_B \quad (3.50)$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (3.49) ve Eşitlik (3.50)'de,

Φ_W : grup içi faktörlerinin varyansını (ya da gizil değişkenler vektörünün grup içi varyansları),

Φ_B : gruplar arası faktörlerinin varyansını (ya da gizil değişkenler vektörünün gruplar arası varyansları),

Θ_W : grup içi tek varyansın köşegen matrisini,

Θ_B : gruplar arası tek varyansın köşegen matrisini göstermektedir (Muthén, 1991; 1994; Kaplan, 2008).

Bu durumda y_{ig} vektörü,

$$y_{ig} = \nu + \Lambda_W \eta_{Wig} + \varepsilon_{Wig} + \Lambda_B \eta_{Big} + \varepsilon_{Big} \quad (3.51)$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (3.51)'de:

Λ_W : gözlenen değişkenleri grup içi gizil değişkenlerle ilişkilendiren faktör yükleri matrisini,

Λ_B : gözlenen değişkenleri gruplar arası gizil değişkenlerle ilişkilendiren faktör yükleri matrisini,

η_{Wig} : grup içi bireylerin gözlenen değişkenleri kapsayan gizil rasgele faktörlerini,

η_{Big} : gruplar arası grupların gözlenen değişkenleri kapsayan gizil rasgele faktörlerini,

ε_{Wig} : grup içi değişkenlerin hatalarını,

ε_{Big} : gruplar arası değişkenlerin hatalarını göstermektedir (Muthén, 1991; 1994; Kaplan, 2008).

3.6. Çok Seviyeli Yol Analizi

Çok seviyeli regresyon modelleri, iç içe geçmiş verilerde grup içi ve gruplar arasında yapısal karmaşıklığı yakalamak için çoğu zaman uygun olmamaktadır. Bu durumda, grup içi ve gruplar arasındaki gözlenen ve gizil değişkenler için karmaşık olan ilişkiler çok seviyeli yol analizi ile analiz edilmektedir (Çoker, 2009). Çok seviyeli yol analizinde ölçekler oluşturulmadan önce, modeldeki ölçüm yapısındaki karmaşıklığı incelemek analize büyük katkılar sağlamaktadır.

Bu kesimde, Kaplan ve Elliott (1997) tarafından tanımlanan çok seviyeli yol analizi modelinin basit şekli ele alınmıştır. Grup içi içsel ve dışsal değişkenler grup birimleri arasında değişmekte ve grup içi değişkenlerin gruplar arası varyasyonu açıkladığı bir teorik model bulunmaktadır (Kaplan ve Elliott, 1997). Muthén (1994) tarafından grup içi model,

$$y_{ig} = \alpha_g + B_y y_{ig} + \varepsilon_{ig} \tag{3.52}$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Eşitlik (3.52)'de,

y_{ig} : grup içi değişkenler vektörünü,

α_g : gruplar arası değişkenin genel ortalamasını,

B_y : her bir grup içi değişkenle ilişkili regresyon katsayısını,

ε_{ig} : değişkenler için hatayı göstermektedir (Muthén, 1994).

Eşitlik (3.52)'de verilen modelde yani yalnızca *Y* modelinde tüm değişkenler içsel değişken olarak kabul edilmektedir (Muthén, 1994; Kaplan, 2008). Ayrıca, B_y matrisi tarafından oluşturulan doğrudan etkiler yol diyagramında genellikle görülmektedir.

Grup içi seviyesindeki değişkenlerin varyasyonlarını modellemek için $(\mathrm{I}-\mathrm{B}_y)$'nin tersinin var olduğu varsayımı altında Eşitlik (3.52) kullanılarak,

$$y_{ig} = (\mathrm{I}-\mathrm{B}_y)^{-1}\alpha_g + (\mathrm{I}-\mathrm{B}_y)^{-1}\varepsilon_{ig} \tag{3.53}$$

eşitliği elde edilir (Hox, 2002; Kaplan, 2008).

Sabit terimler ve ortalamalar için gruplar arası model olan α_g terimi,

$$\alpha_g = \alpha + \mathrm{B}_\alpha z_g + \delta_g \qquad (3.54)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Eşitlik (3.54)'te,

z_g : (r×1) boyutlu genel ortalama etrafında merkezileştiği varsayılan grup seviye değişkenini,

B_α : z_g ile gözlenen birey seviyesi değişkenlerinin ortalamalarının birbirleriyle ilişkilerini gösteren (p×r) boyutlu katsayılar matrisini,

δ_g : (p×1) boyutlu sıfır ortalamalı hata terimini göstermektedir (Kaplan, 2008).

$(\mathrm{I}-\mathrm{B}_z)^{-1}$ mevcut olduğu varsayımı altında z_g değişkeni farklı gruplar arası model ile yazılabileceği,

$$z_g = \tau + \mathrm{B}_z z_g + u_g \qquad (3.55)$$

eşitliği ile ifade etmektedir (Muthén, 1994; Kaplan, 2008). Tekil olmayan $(\mathrm{I}-\mathrm{B}_z)$ varsayımı altında z_g değişkeni,

$$z_g = (\mathrm{I}-\mathrm{B}_z)^{-1}\tau + (\mathrm{I}-\mathrm{B}_z)^{-1}u_g \qquad (3.56)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada; τ , (r×1) boyutlu sabit terimler ve ortalamalar vektörünü, B_z, (r×r) boyutlu grup seviyesi değişkenlerin ilişkili katsayılar matrisini, u_g , (r×1) boyutlu sıfır ortalamalı karışıklık terimini göstermektedir. Bu durumda elde edilen genel grup içi ve gruplar arası model,

$$y_{ig} = (\mathrm{I}-\mathrm{B}_y)^{-1}\alpha + \Pi\tau + \Pi u_g + (\mathrm{I}-\mathrm{B}_y)^{-1}\delta_g + (\mathrm{I}-\mathrm{B}_y)^{-1}\varepsilon_g \qquad (3.57)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Π, çok seviyeli toplam etki matrisini göstermek üzere,

$$\Pi = (\mathrm{I}-\mathrm{B}_y)^{-1}\mathrm{B}_\alpha(\mathrm{I}-\mathrm{B}_z)^{-1} \qquad (3.58)$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (3.57) kullanılarak beklenen değer ve varyans,

$$\mathrm{E}(\mathrm{y}_{ig}) = (\mathrm{I} - \mathrm{B}_y)^{-1}\alpha + \Pi\tau \tag{3.59}$$

$$\mathrm{var}(y_{ig}) = \Pi\Psi_u\Pi' + (\mathrm{I} - \mathrm{B}_y)^{-1}\Psi_\delta(\mathrm{I} - \mathrm{B}_y)'^{-1} + (\mathrm{I} - \mathrm{B}_y)^{-1}\Psi_\varepsilon(\mathrm{I} - \mathrm{B}_y)'^{-1} \tag{3.60}$$

eşitliklerinden elde edilmektedir. Burada $\Psi_u = \mathrm{var}(u_g)$, $\Psi_\delta = \mathrm{var}(\delta_g)$ ve $\Psi_\varepsilon = \mathrm{var}(\varepsilon_g)$ bilgilerinden yararlanarak Eşitlik (3.59) ve (3.60) elde edilmektedir (Kaplan, 2008). Eşitlik (3.59) ve (3.60)'den yararlanarak sırasıyla grup içi ve gruplar arası varyans-kovaryans matrisi,

$$\Sigma_W = (\mathrm{I} - \mathrm{B}_y)^{-1}\Psi_\varepsilon(\mathrm{I} - \mathrm{B}_y)'^{-1} \tag{3.61}$$

$$\Sigma_B = \Pi\Psi_u\Pi' + (\mathrm{I} - \mathrm{B}_y)^{-1}\Psi_\delta(\mathrm{I} - \mathrm{B}_y)'^{-1} \tag{3.62}$$

olarak elde edilmektedir (Kaplan ve Elliott, 1997; Kaplan, 2008).

3.7. Mplus Paket Programı Tanıtımı

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesinde sıklıkla kullanılan Mplus paket programı, araştırmacılara verilerini analiz etmek için esneklik sağlayan Windows tabanlı bir istatistiksel modelleme programıdır. Mplus programında, sürekli ve kategorik değişkenler ile gizil değişkenlerin değerlendirilmesi oldukça kolaydır (Muthén ve Muthén, 1998). Program içeriğinde kodlamaların yazıldığı bir syntax (sözdizimi, sentaks) bölümü mevcuttur. Ayrıca, Mplus programda yer alan modellerden herhangi birine göre verilerin üretilip analiz edilebildiği Monte Carlo simülasyon çalışmaları için kapsamlı özelliklere sahiptir. Mplus'ta modelleme işlemi, gizli değişkenlerin birleştirici temasına dayanmaktadır. Mplus'ta kurulan modelin diyagram gösterimi, hem sürekli hem de kategorik gizil değişkenlerden oluşmaktadır.

Bu kesimde, öncelikle Mplus paket programı menüleri ve kısayol tuşları tanıtılacaktır. Daha sonra, programın arayüzü olan syntax kısmında kullanılan bazı komutlar hakkında bilgi verilecektir.

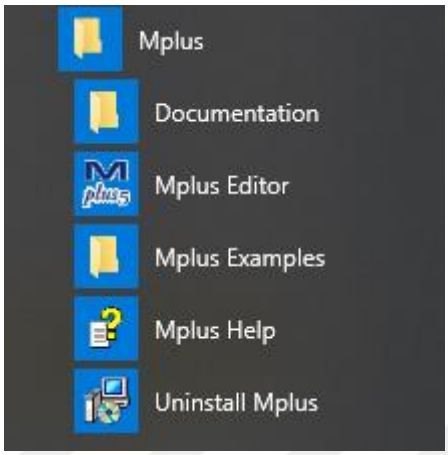
Mplus programının Windows işletim sistemi içerisinde programın başlatılması *Başlat > Programlar > Mplus > Mplus Editor* , Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

Mplus Editor: Paket program açılır.

Documentation: Hazırlanan belgelere ulaşılır.

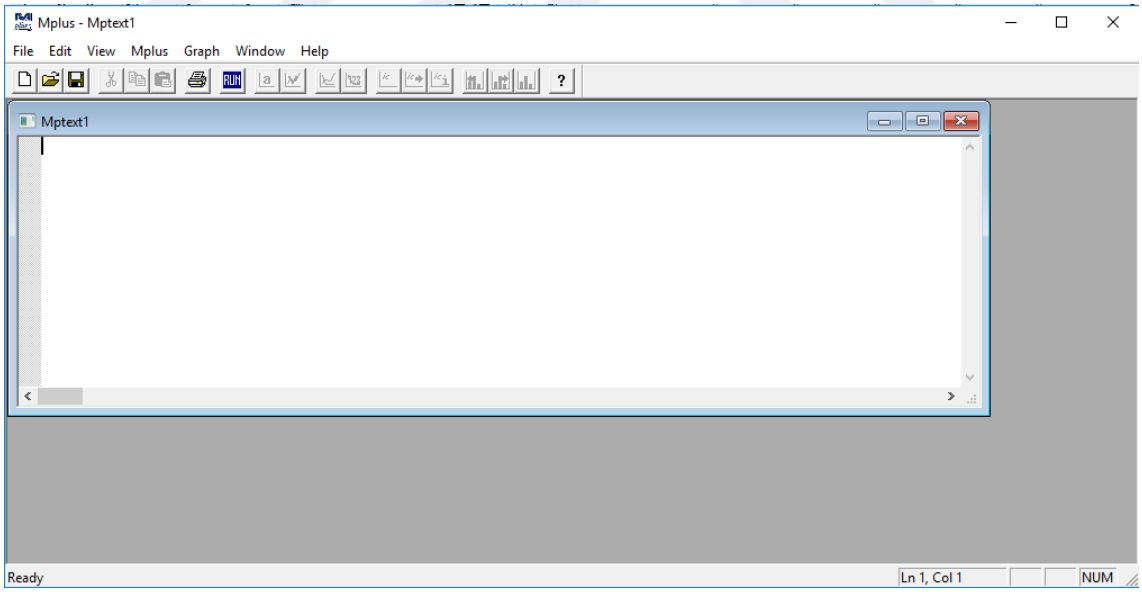
Mplus Examples: Hazır bulunan örnek dosyalara ulaşılır.

Mplus Help: Program hakkındaki yardım açıklamalarına ulaşılır.



Şekil 3.3. Mplus Editor programının başlatılması

Şekil 4.2'de, *Mplus Editor* programı açıldıktan sonra karşılan ilk ekran olan ve komutların girileceği kısmı gösteren *Mptext1* syntax ekranı görülmektedir.



Şekil 3.4. Mplus Editor programının ana ekranı

Şekil 4.3'te, *Mplus Editor* programının *File* menüsü gösterilmektedir. *File* menüsünde yer alan sekmeler:

New: Yeni ve boş bir metin sayfası açılır.

Open…: Önceden kayıtlı bir belge açılır.

Close: Metin sayfası kapatılır.

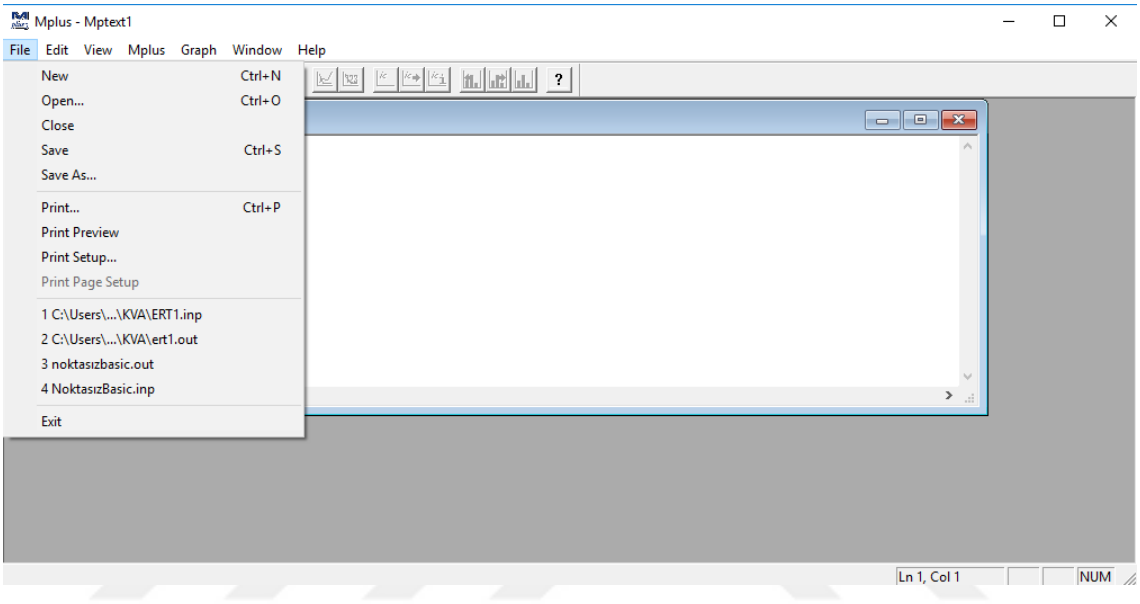
Save ve Save As…: Belge kaydedilir.

Print…: Belgenin çıktısı alınır.

Print Preview: Belgenin çıktısının ön izlemesi yapılır.

Print Setup… ve *Print Page Setup:* Çıktı ayarları yapılır.

Exit: Programdan çıkılır.



Şekil 3.5. Mplus Editor programı File menüsü

Şekil 4.4'te, *Mplus Editor* programının *Edit* menüsü gösterilmektedir. *Edit* menüsünde yer alan sekmeler:

Undo: Metin sayfasında yazılan son metni geri getirir.

Cut: Metin sayfasında seçilen metni keser.

Copy: Metin sayfasında seçilen metni kopyalar.

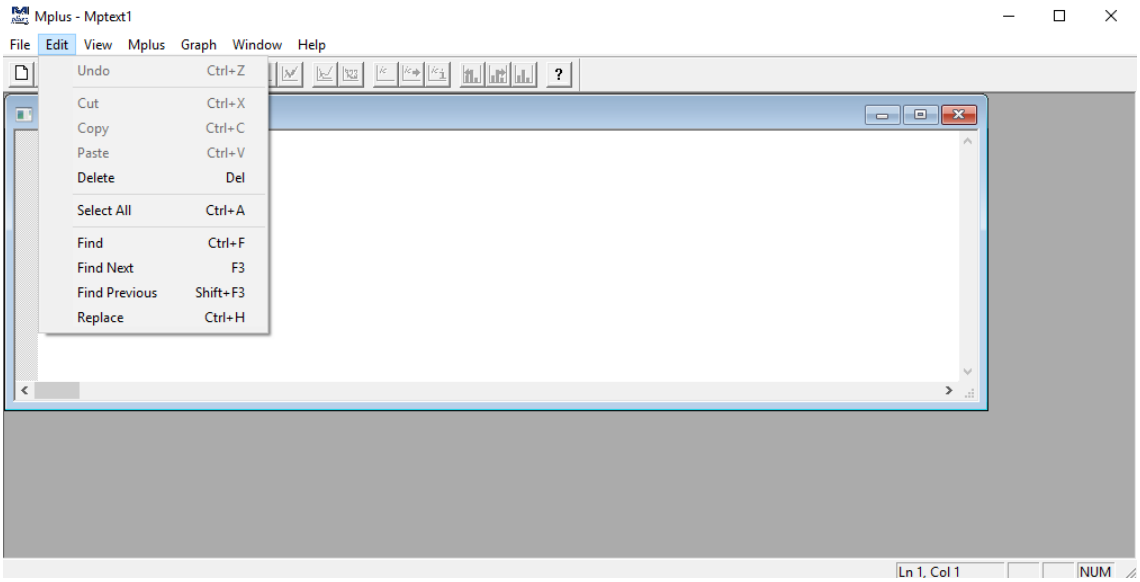
Paste: Kopyalanan ve kesilen metni yapıştırır.

Delete: Seçilen metni siler.

Select All: Metin sayfasındaki metnin tamamını seçer.

Find, Find Next ve *Find Previous:* Metin içindeki herhangi bir kelimeyi veya harfi bulur.

Replace: Metinde belirlenen kelime değiştirilir. Bu komutlara ilişkin kısayol tuşları, sekme kenarında görülmektedir.

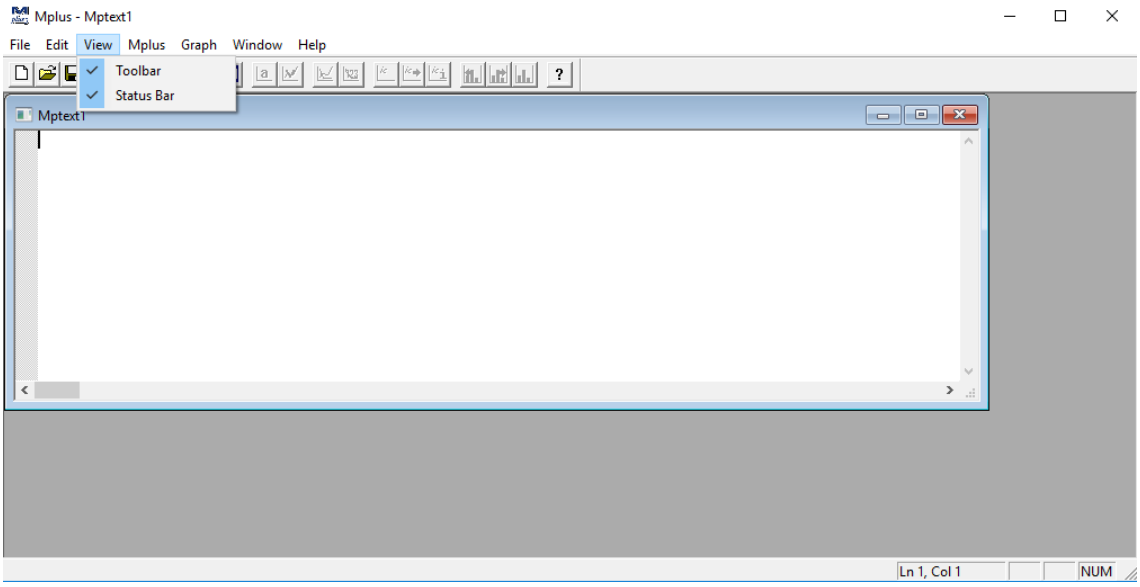


Şekil 3.6. Mplus Editor programı Edit menüsü

Şekil 4.5'te, *Mplus Editor* programının *View* menüsü gösterilmektedir. *View* menüsünde yer alan sekmeler:

Toolbar: Araç çubuğu aktifleşir.

Status Bar: Durum çubuğu aktifleşir.



Şekil 3.7. Mplus Editor programı View menüsü

Şekil 4.6'da, *Mplus Editor* programının *Mplus* menüsü gösterilmektedir. *Mplus* menüsünde yer alan sekmeler:

SEM: Yapısal eşitlik modellemesi analizi yapılır.

SEM with Missing data: Kayıp veriler ile yapısal eşitlik modellemesi analizi yapılır.

SEM with Clustured data: Kümelenmiş veriler ile yapısal eşitlik modellemesi analizi yapılır.

Mixture: Karmaşık modellerin analizi yapılır.

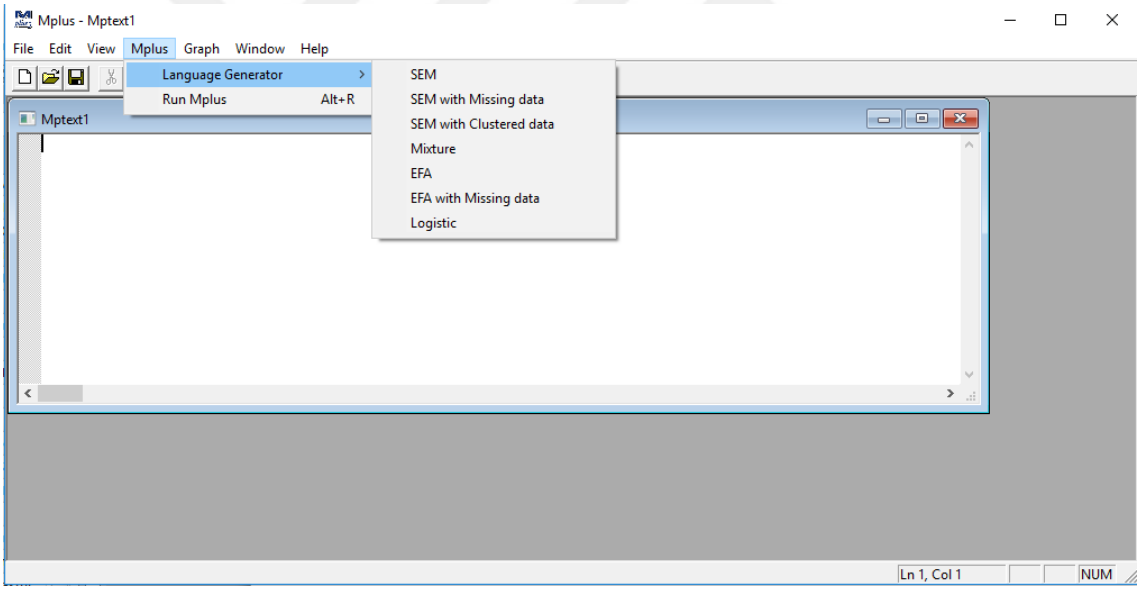
EFA: Açımlayıcı faktör analizi yapılır.

EFA with Missing data: Kayıp veriler ile açımlayıcı faktör analizi yapılır.

Logistic: Lojistik regresyon analizi yapılır.

Run Mplus: Syntax'a girilen komutların veya *Language Generator* menüsündeki girdiler çalıştırılır. Bu sekmenin kısayol tuşu *Alt+R* tuşlarıdır.

Örneğin; *Mplus Editor* programının *Mplus* menüsünde yer alan *Language Generator*'de bulunan *SEM* analizine ilişkin veri girişleri incelensin. Diğer *Language Generator* analiz çeşitleri de aynı kısıtları içermektedir.



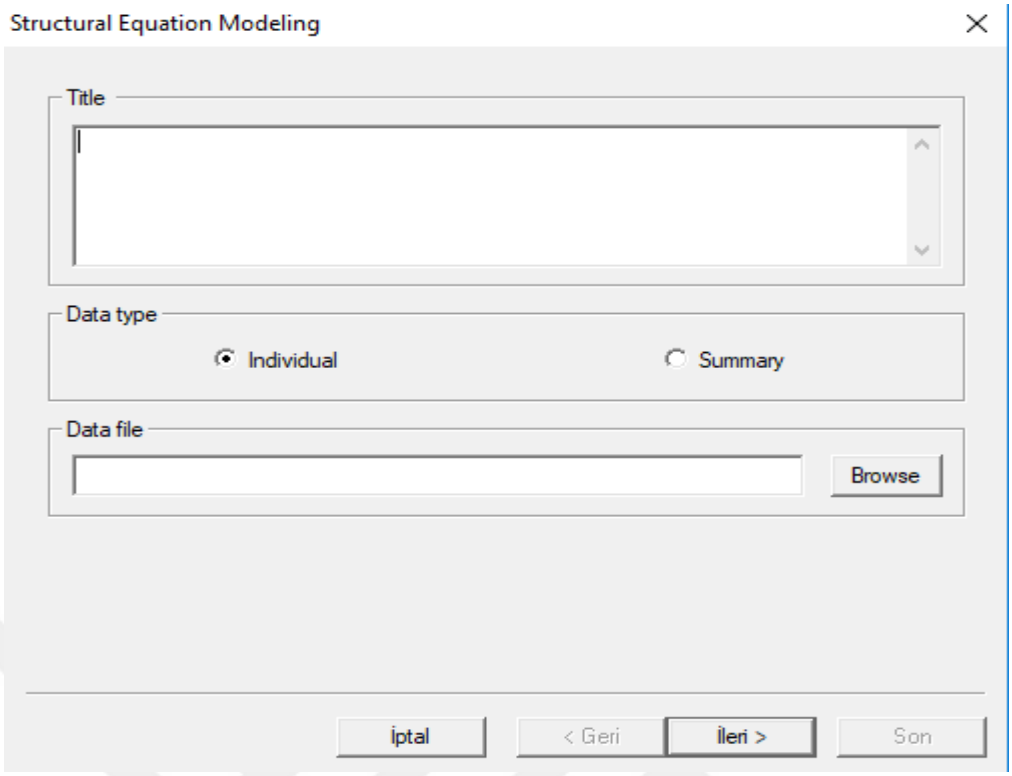
Şekil 3.8. Mplus Editor programı Mplus menüsü

Şekil 4.7'de, *Language Generator* > *SEM* sekmeleri tıklandığında görüntülenen birinci sayfa gösterilmektedir.

Title: Yapılacak çalışmanın başlığı girilir.

Data type: Bireysel ve özet şeklinde olmak üzere iki veri tipi çeşidi seçilir.

Data file: Browse sekmesine tıklanarak veri dosyası seçilir.



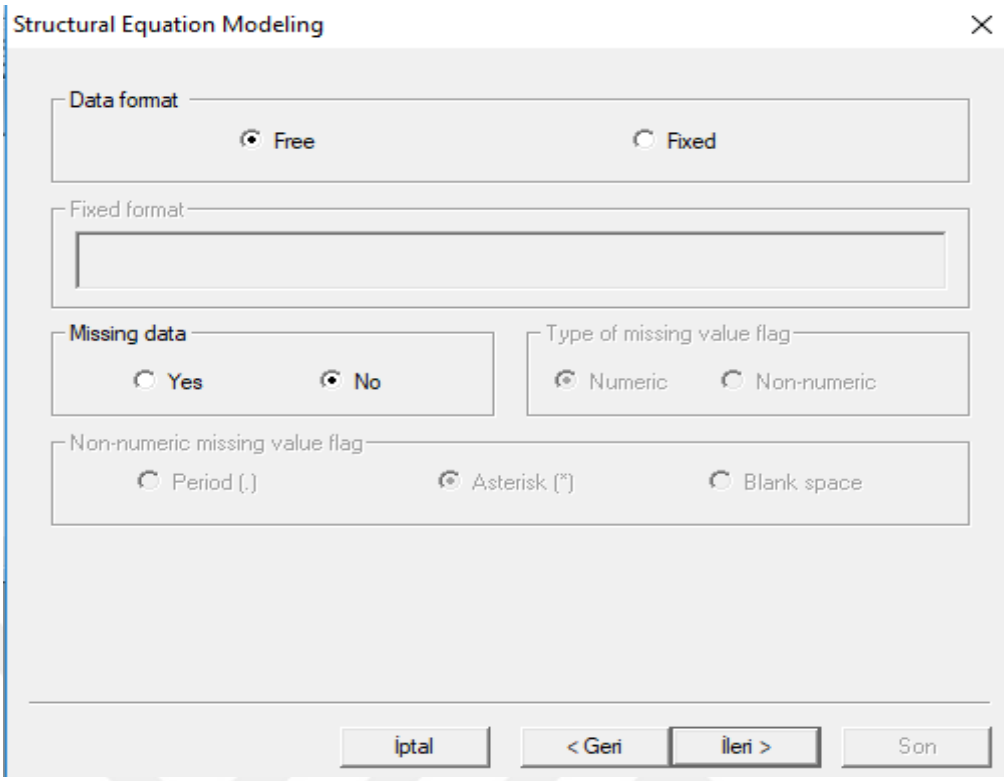
Şekil 3.9. Language Generator > SEM birinci sayfa ekranı

Şekil 4.8'de, *Language Generator > SEM* sekmeleri tıklandığında görüntülenen ikinci sayfa gösterilmektedir.

Data format: Veriler, serbest ve sabit olmak üzere düzenlenir.

Missing data: Kayıp verilerin olup olmadığı belirlenir.

Type of missing value flag: Eğer kayıp veri varsa bu başlık altında kayıp değer tipi belirlenir ve alt bölümünde veri giriş etiketinin şekli (boşluklu vs.) girilir.



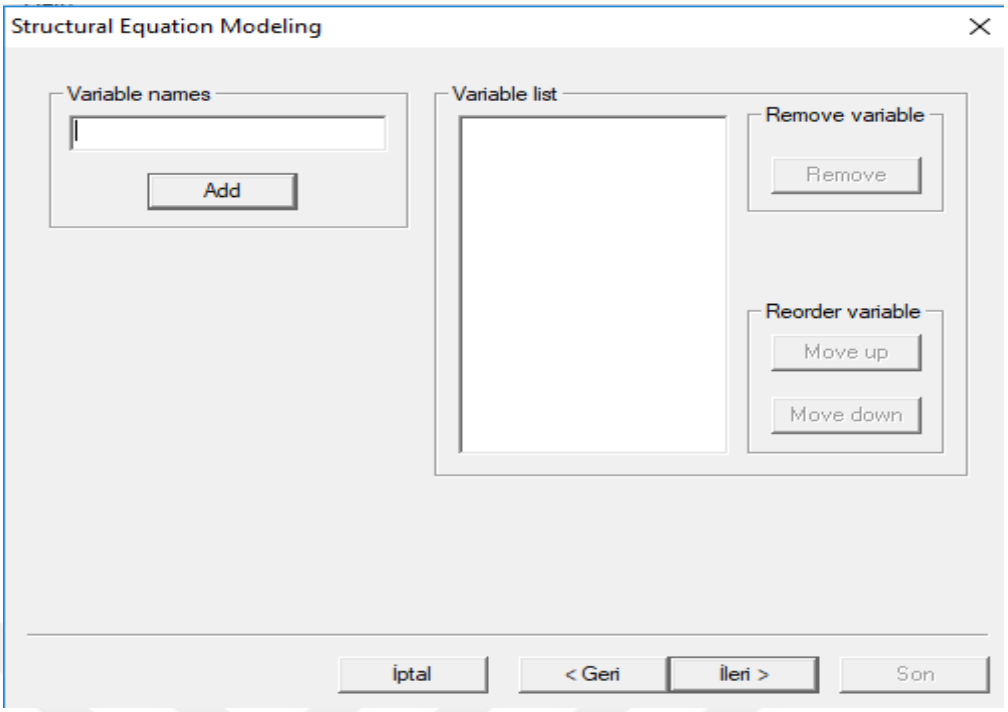
Şekil 3.10. Language Generator > SEM ikinci sayfa ekranı

Şekil 4.9'da, *Language Generator* > *SEM* sekmeleri tıklandığında görüntülenen üçüncü sayfa gösterilmektedir.

Variable names: Çalışmadaki değişkenler tanımlanır.

Variable list: Tanımlanan değişkenler, değişken listesinde görülür.

Remove variable ve *Reorder variable:* Değişken silme ve değişkeni yeniden sıralama işlemleri yapılır.

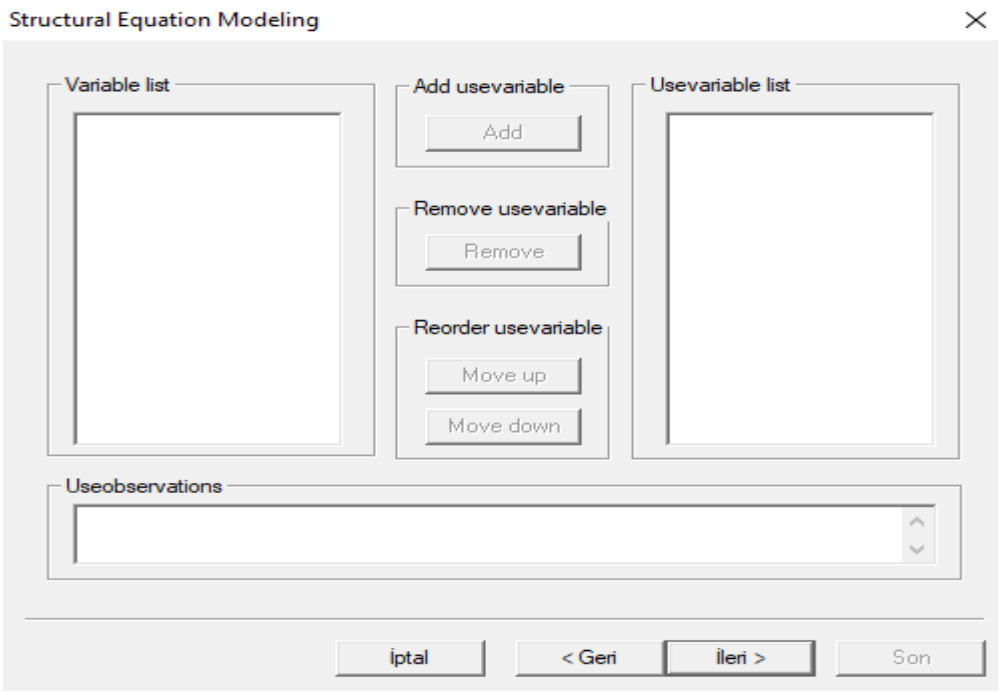


Şekil 3.11. Language Generator > SEM üçüncü sayfa ekranı

Şekil 4.10'da, *Language Generator > SEM* sekmeleri tıklandığında görüntülenen dördüncü sayfa gösterilmektedir.

Usevariable list: Tanımlanan değişkenlerin gösterildiği listedir.

Useobservations: Kulanılan gözlemlerin gösterildiği listedir.



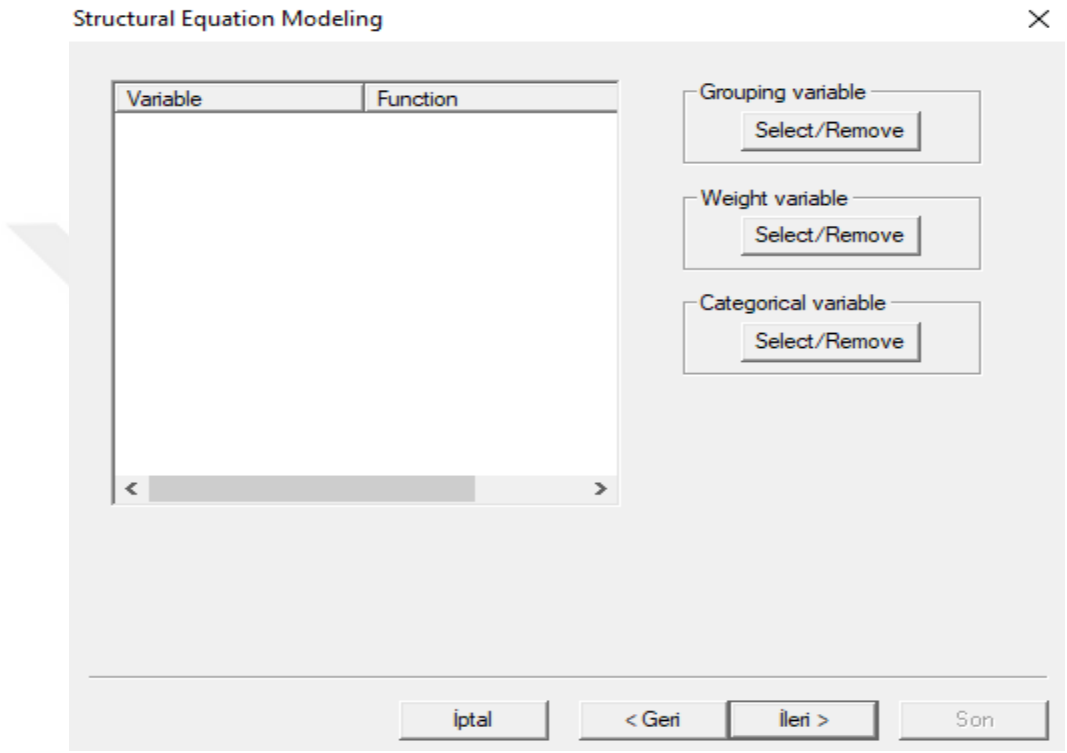
Şekil 3.12. Language Generator > SEM dördüncü sayfa ekranı

Şekil 4.11'de, *Language Generator > SEM* sekmeleri tıklandığında görüntülenen beşinci sayfa gösterilmektedir.

Grouping variable: Grup oluşturulacak değişkenler seçilir veya silinir.

Weight variable: Ağırlıklandırılacak değişkenler seçilir veya silinir.

Categorical variable: Kategorik değişkenler seçilir veya silinir.



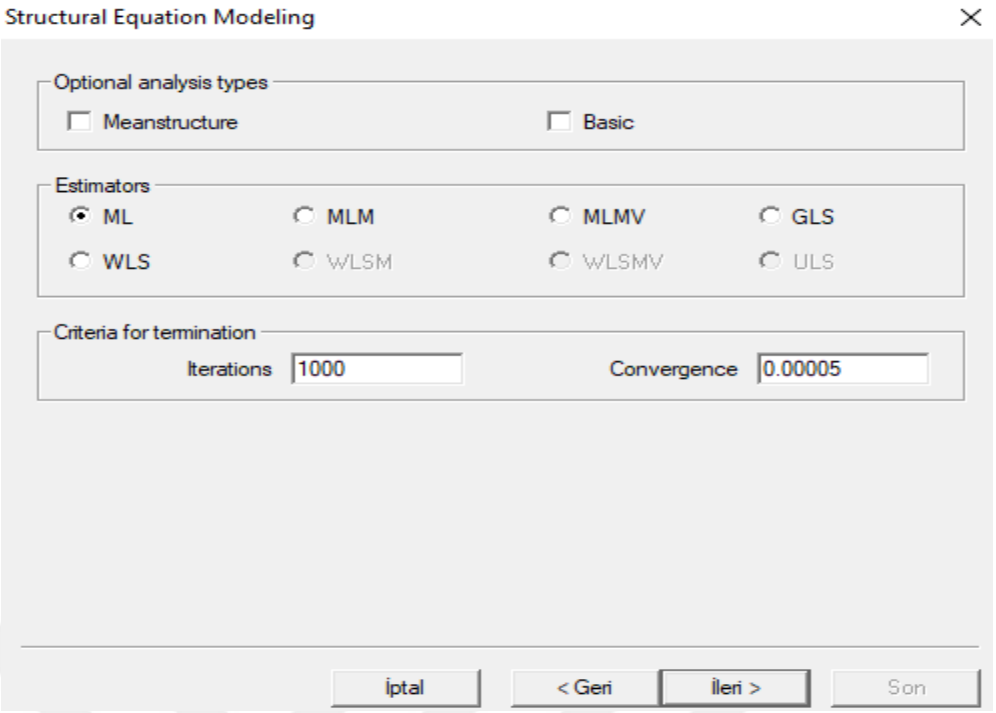
Şekil 3.13. Language Generator > SEM beşinci sayfa ekranı

Şekil 4.12'de, *Language Generator > SEM* sekmeleri tıklandığında görüntülenen altıncı sayfa gösterilmektedir.

Optional analysis types: İsteğe bağlı analiz çeşidi seçilir.

Estimators: Analiz yapılacak verilerin tahmin yöntemleri (maksimum olabilirlik vs.) seçilir.

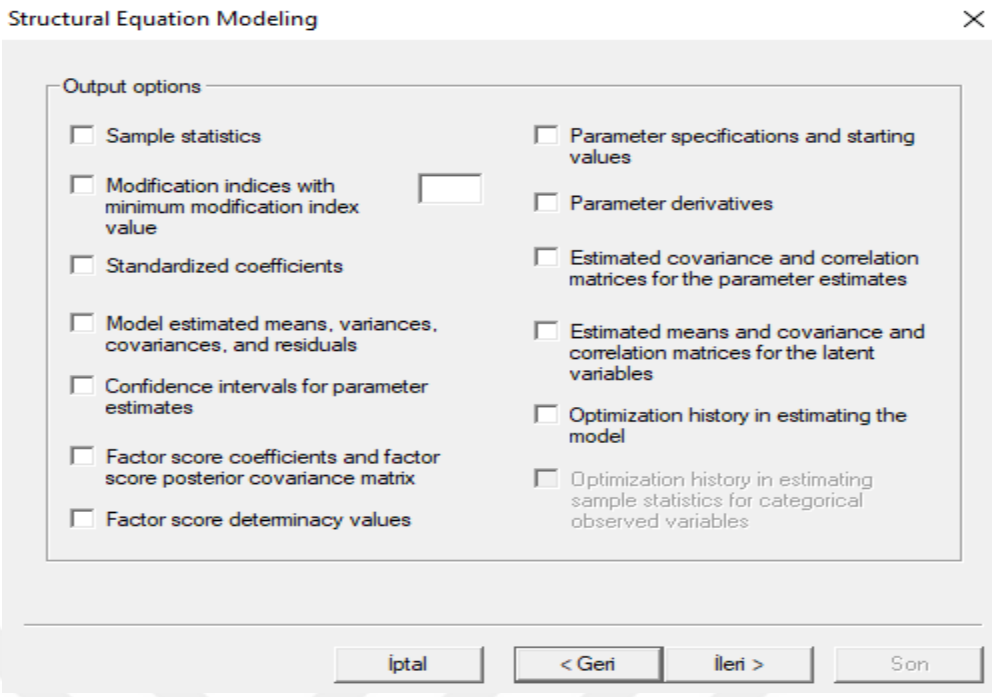
Criteria for termination: Yapılacak olan iterasyonun ve yakınsamanın sınırlandırılması seçilir.



Şekil 3.14. Language Generator > SEM altıncı sayfa ekranı

Şekil 4.13'te, *Language Generator* > *SEM* sekmeleri tıklandığında görüntülenen yedinci sayfa gösterilmektedir.

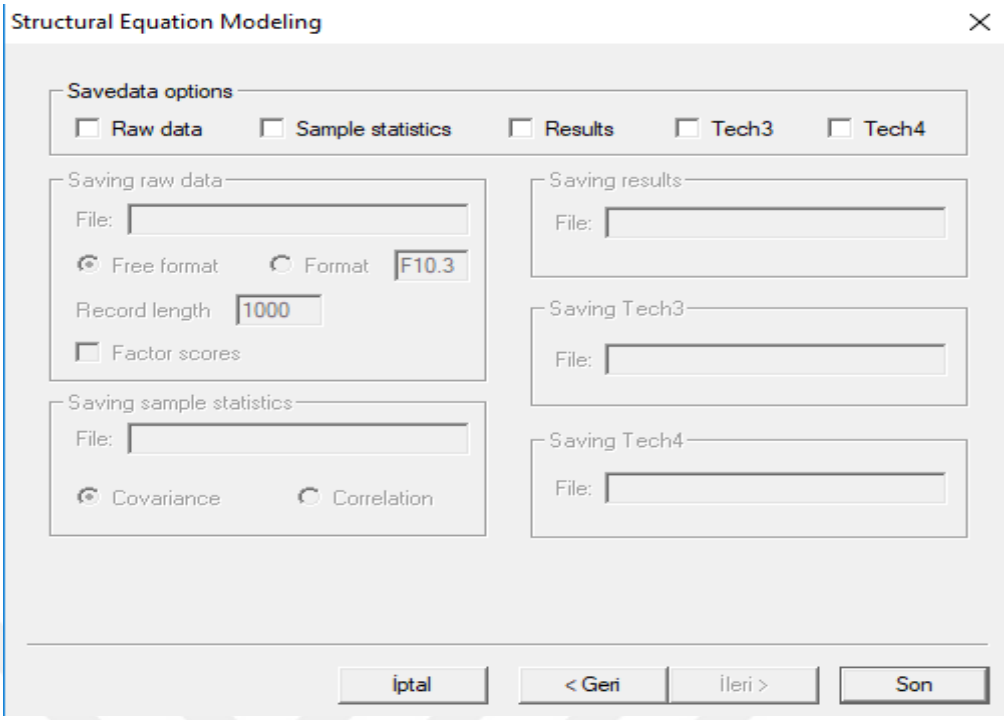
Bu sayfada, *Output options* kısmında analiz sonucu alınacak çıktı için isteğe bağlı sonuçlar işaretlenir. Örneklem istatistiği, düzeltme indeksi, parametre tanıtımı ve başlama değeri, faktör değeri, parametre tahminleri için kovaryans ve korelasyon vs. gibi sonuç seçenekleri mevcuttur.



Şekil 3.15. Language Generator > SEM yedinci sayfa ekranı

Şekil 4.14'te, *Language Generator* > *SEM* sekmeleri tıklandığında görüntülenen sekizinci sayfa gösterilmektedir.

Savedata options kısmında işlenmemiş veri, örneklem istatistiği gibi veri kayıt seçenekleri mevcuttur. Analiz sonuçları bu sayfadaki seçeneklerden isteğe bağlı olarak kaydedilir.



Şekil 3.16. Language Generator > SEM sekizinci sayfa ekranı

Şekil 4.15'te, *Mplus Editor* programının *Graph* menüsü gösterilmektedir. *Graph* menüsünde yer alan sekmeler:

View graphs: Grafikler görüntülenir.

Attach graph file: Grafik dosyası eklenir.

View descriptive statistics: Tanımlayıcı istatistikler görüntülenir.

Individual data: Bireysel veriler girilir.

Histograms: Histogram grafiği çizilir.

Insert: Grafik eklenir.

Delete: Grafik silinir.

Properties: Grafiğe ait özellikler girilir.

Show/Hide legend: Grafikteki göstergelerin gizlilik ayarı yapılır.

Line series: Seri çizgisi ayarlanır.

Scatterplots: Saçılım grafiği çizilir.

X-axis properties: X ekseni özellikleri ayarlanır.

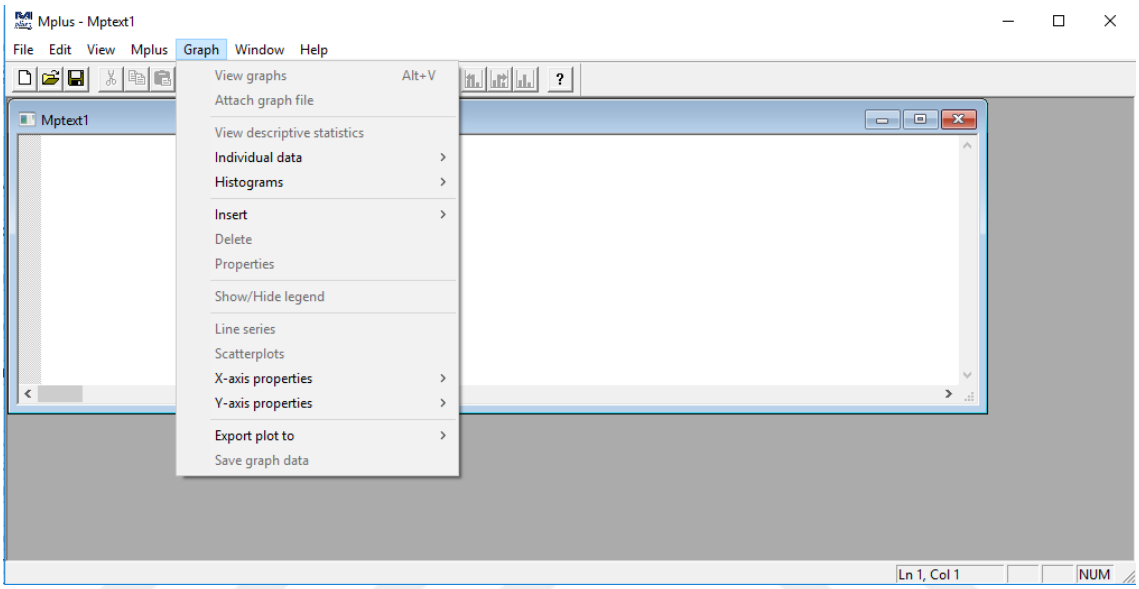
Y-axis properties: Y ekseni özellikleri ayarlanır.

Export plot to: Grafik aktarılır.

Save graph data: Veri grafiği kaydedilir.

Ayrıca, çalışılan modelin grafiği veya şekli bu menü üzerinden yapılabilmektedir. Grafik oluşturmada kullanılan kısayol tuşu *Alt+V* olarak gösterilmektedir.

Window menüsünde açık olan pencerenin veya metinin üzerinde işlem gerçekleştirilebilir. *Help* menüsü kullanılarak program ve analiz hakkında yardım alınabilir.



Şekil 3.17. Mplus Editor programı Graph menüsü

Çizelge 4.1'de, Mplus Editor programına ait kısayol çubuklarına ilişkin açıklamalar gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Mplus Editor kısayol çubuğu ifadeleri (Versiyon 5.1)

Bölge Kodu	Düğmenin Adı	Açıklama
	New	Yeni dosya açar.
	Open	Kayıtlı dosya açar.
	Save	Dosyayı kaydeder.
	Cut	Seçilen metni keser.
	Copy	Seçilen metni kopyalar.
	Paste	Kopyalanan ve kesilen metni yapıştırır.
	Print	Yazıcıdan çıktı verir.
	Run Mplus	Yazılan syntax çalıştırır.
	Attach graph file	Grafik dosyası ekler.
	View graphs	Grafik gösterir.
	Edit line series	Çizgi serilerini düzenler.
	Save graph data	Grafik verisini kaydeder.
	Scatterplot edit	Saçılım grafiği düzenler.
	Histograms edit	Histogramları düzenler.
	About	Program hakkında bilgi verir.

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi için büyük kolaylıklar sağlayan Mplus programının syntax kısmının daha kullanışlı olduğu görülmektedir. Syntax kısmında, Mplus programına ait birden fazla komut bulunmaktadır. Bu komutlarla elde edilen veriler için yapılacak analiz, hızlı ve kolay bir şekilde sonuçlandırılmaktadır. Mplus programının syntax komutları aşağıda açıklanmıştır (Muthén ve Muthén, 1998; Can ve ark., 2011).

TITLE: Yapılacak analiz için oluşturulacak başlık sağlamak için kullanılır.

DATA: Analiz edilecek veri kümesi hakkında bilgi edinmek ve elde edilen veri kümesini programa tanımlamak için kullanılır. Veri kümesi tanımlanırken değişken sayısının en fazla 500 olmasına, maksimum kayıt uzunluğunun 5000 adeti geçmemesine ve girilen verilerin içeriğinde virgül olmamasına dikkat edilmelidir.

VARIABLE: Analiz edilecek veri kümesindeki değişkenler hakkında bilgi vermek ve bu değişkenleri tanımlamak için kullanılır.

DEFINE: Analiz edilecek veri kümesindeki mevcut değişkenleri dönüştürmek ve yeni değişkenleri oluşturmak için kullanılır.

ANALYSIS: Analiz şeklini, istatistiksel tahmin edicileri, modelin parametrelendirilmesini ve hesaplama algoritmalarının özelliklerini içeren analizin teknik ayrıntılarını tanımlamak için kullanılır.

MODEL: Analiz edilecek modelin tanımlaması için kullanılır. Ayrıca, bu komut kullanılarak bir model Mplus diline çevrilebilir. Komut sayesinde çok seviyeli modellerin, doğrusal ve doğrusal olmayan kısıtlı modellerin ve parametre kısıtlamalarına sahip modellerin varyasyonları bulunur.

OUTPUT: Analiz edilecek veri kümesinin çıktısını varsayılana ek olarak farklı şekillerde almak için kullanılır.

SAVE DATA: Analiz edilecek verilerin girdi ve çıktısının ayrı ayrı kaydedilmesi için kullanılır.

PLOT: Analiz edilecek gözlenen verilerin ve sonuçlarının grafiksel olarak gösterilmesi için kullanılır.

MONTECARLO: Monte Carlo simülasyon çalışmasını oluşturmak ve sonuçlandırmak için kullanılır.

FILE: Dosya uzantısı ".dat" olan veri kümesine ait dosyayı belirlemek için kullanılır.

NAMES: Değişkenlerin isimlerini tanımlamak için kullanılır.

WITHIN: Grup içi değişkenlerin isimlerini tanımlamak için kullanılır.

BETWEEN: Gruplar arası değişkenlerin isimlerini tanımlamak için kullanılır

CLUSTER: Kümeyi ya da sınıfı tanımlamak için kullanılır.

CENTERING: Merkezileştirilme yapılacak değişkenleri tanımlamak için kullanılır.

TYPE: Modelin analiz türünü belirlemek için kullanılır.

%WITHIN%: Model içerisindeki grup içi değişkenleri tanımlamak için kullanılır.

%BETWEEN%: Model içerisindeki gruplar arası değişkenleri tanımlamak için kullanılır.

STANDARDIZED: Çıktı alınacak verileri standartlaştırmak için kullanılır.

Mplus syntax kısmında, “ON” komutu değişkenlerin regresyon katsayıları için, “BY” komutu gözlenen değişkenleri gizil değişkenlere bağlaması için, “WITH” komutu ise değişkenler arasındaki ilişkiyi birbirine bağlamak için kullanılmaktadır.

Mplus programında her komuttan sonra “;” işaretinin kullanılması zorunludur. Veri kümesindeki her bir sayısal değişken için ondalık kısım hane sayısı 6’yı geçmemelidir, aksi taktirde analiz sonucu hata ile sonuçlanmaktadır. Mplus programında girdi dosyasının uzantı türü “.inp”, çıktı dostasının uzantı türü “.out” olarak görülmektedir.

4. UYGULAMA

Yapısal eşitlik modellemesinde (SEM), bireyler gruplardan ayrıymış gibi göz ardı edilmekte ve karmaşık modellere dâhil edilmemektedirler. Bu durum, SEM'de varyansların yanlılığının yüksek çıkmasına ve hata miktarının büyük olmasına neden olur. Yapılan çalışmalarda, çok sayıda küme içeren veri kümelerinde gözlemlere ait bağımlılık varsayımının ihlal edilmesi durumunda tek seviyeli analizler yeterli olamamaktadır. Bu nedenle, hiyerarşik veriler için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesine (MSEM) ihtiyaç duyulmaktadır (Can ve ark., 2011).

MSEM, hiyerarşik verileri hem gruplar içi hem de gruplar arası düzeyde incelemekte ve elde edilen parametrelerin tahmininde geniş kapsamlı yorumsal bir destek sağlamaktadır. MSEM, birey ve gruplar için incelenen verilerin varyasyonunu ayrıştırıp eş zamanlı modellemeye olanak sağlamakta ve tahminlerin yansızlığını göz ardı etmeden analizin sonuçlarını güçlü bir şekilde değerlendirmektedir (Can ve ark., 2010).

Bu tez çalışmasının uygulama bölümünde, PISA 2015 verileri üzerinde birey özelliklerine etki eden değişkenlerin yanı sıra grup özelliklerine etki edebileceği düşünülen değişkenler Mplus paket programı kullanılarak çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi ile analiz edilmiştir. Ayrıca, PISA 2015 araştırmasında fen okuryazarlığı performansında ilk sırada yer alan Singapur için aynı analizler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.1. Uygulamanın Kitlesi, Örneklemi ve Yöntemi

Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA), öğrencilerin eğitimde öğrendiği bilgileri, yaşama karşı aktarımı ve değişen dünya düzeninde oluşan yeni durumlara uyarlamayı ölçen ve değerlendiren uluslararası bir araştırmadır (Taş ve ark., 2016).

PISA araştırmasının ilk uygulaması 2000 yılında gerçekleştirilmiş olup üç yılda bir düzenlenmekte ve Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) tarafından finanse edilmektedir. PISA araştırmasının hedef kitlesini 15-16 yaş grubu öğrencileri oluşturmaktadır. PISA araştırmasının temel amacı, fen, matematik ve okuma becerileri alanında öğrendiğini anlama ve yorumlama yani okuryazarlık kavramı üzerinden yola çıkarak öğrencilerin başarılarını ölçmektir (OECD, 2016).

PISA araştırmasının en önemli uygulaması anketlerdir ve PISA'nın değerlendirme yaptığı çok sayıda anket vardır. Zorunlu olarak tüm ülkelerin katıldığı

öğrenci anketi ve okul anketinin yanı sıra öğretmen anketi, bilgi ve iletişim teknolojileri anketi, eğitim kariyeri anketi ve ebeveyn anketi ülkelerin tercihine bırakılmıştır.

Öğrenci anketi, öğrencilerin ev ve okul ortamını, bilgisayar kullanımını, okuldaki öğrendiklerini yaşama aktarmayı, fen, matematik ve okuma becerisi gibi temel alanların değerlendirildiği soruları içermektedir. Okul anketi ise, okul türünün, okuldaki araç gereçlerin, okul amaçlarının, okul-aile ilişkisinin, okuldaki eğitim kadrosunun değerlendirildiği soruları içermektedir.

Yıllara göre PISA araştırmada uygulanan anketlerin temel ağırlıklı alanları (okuma becerileri, matematik okuryazarlığı ve fen okuryazarlığı) Çizelge 4.2'de gösterilmektedir (Taş ve ark., 2016).

Çizelge 4.1. Yıllara göre PISA Araştırması temel ağırlıklı araştırma alanları

Yıllar	Okuma Becerileri	Matematik okuryazarlığı	Fen okuryazarlığı
2000	X		
2003		X	
2006			X
2009	X		
2012		X	
2015			X

PISA Araştırmasının altıncı döngüsü olan PISA 2015 uygulaması, 35'i OECD üyesi olan 72 ülkede 29.000.000 öğrenciyi temsil eden 540.000'e yakın öğrencinin katılımıyla 2015 yılı içerisinde gerçekleştirilen bilgisayar tabanlı ilk uygulamadır. Türkiye'de Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) bünyesindeki Ölçme, Değerlendirme ve Sınav Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen PISA 2015 araştırmasında kitle olarak 15-16 yaş grubu 925.366 öğrenci yer almıştır. Örneklem olarak, bu kitleden tabakalı rasgele örnekleme yöntemiyle 187 okuldan (gruplar arası) seçilen 5895 öğrenci (grup içi) alınmıştır.

Çizelge 4.3'te, İstatistikî Bölge Birimleri Sınıflaması (İBBS) Düzey 1'e göre PISA 2015 Araştırması için belirlenen öğrenci sayıları ve yüzdeleri gösterilmektedir (Taş ve ark., 2016).

Çizelge 4.2. İBBS Düzey 1'e göre PISA 2015 araştırması için belirlenen örneklem sayıları ve yüzdeleri

Bölge Kodu	Bölge Adı	Katılan Öğrenci Sayısı	Yüzde (%)
TR1	İstanbul	1070	18,15
TR2	Batı Marmara	245	4,16
TR3	Ege	707	11,99
TR4	Doğu Marmara	510	8,65
TR5	Batı Anadolu	553	9,38
TR6	Akdeniz	817	13,86
TR7	Orta Anadolu	334	5,67
TR8	Batı Karadeniz	303	5,14
TR9	Doğu Karadeniz	194	3,29
TRA	Kuzeydoğu Anadolu	199	3,38
TRB	Ortadoğu Anadolu	276	4,68
TRC	Güneydoğu Anadolu	687	11,65

PISA 2015 araştırmasında Singapur'un kitlesini temsil eden 15-16 yaş grubu 46.244 öğrenci yer almıştır. Örneklem olarak, bu kitleden tabakalı rasgele örnekleme yöntemiyle 177 okuldan (gruplar arası) seçilen 6115 öğrenci (grup içi) oluşturmaktadır.

PISA 2015 araştırmasında uygulanan öğrenci ve okul anketi için, fen okuryazarlığı ağırlıklı temel alan olarak ele alınmıştır. Okuryazarlık olarak tanımlanan kavramda, öğrencilerin yeteneklerini etkileyen bilişsel faktörler ortaya çıkmaktadır. Örneğin, öğrencilerin fen bilimlerine yönelik davranışları ve eğilimleri onların ilgi düzeyleri üzerinde etkili olabilmektedir (OECD, 2016; Taş ve ark., 2016).

PISA 2015 araştırmasından alınan verilerin MSEM ile analiz edilebilmesi için öncelikle veriler IBM SPSS Statistic 21.0 ile düzenlenmiştir. Düzenlenen verilerin içeriğinde kayıp veriler olduğundan kayıp veri analizi uygulanmıştır. Kayıp veri analizi yapıldıktan sonra veri dosyası ".dat" uzantısı ile kaydedilmiştir. Daha sonra, çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi analizi için Mplus Version 5.1 programı kullanılmıştır. MSEM için iki seviyeli (TWOLEVEL) model kurulmuştur.

4.2. Uygulamanın Bulguları

PISA 2015 araştırması verileri için fen okuryazarlığı, matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri olmak üzere üç temel alan incelenmiştir. Grup içi ve gruplar arası değişkenler için yapılan MSEM analizinin ilk adımında, ağırlıklı temel alan olan fen okuryazarlığı incelenmiştir.

Bu kesimde, değişkenler hakkında bilgi verilip, bu değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler gösterilecek ve Mplus paket programı analiz sonuçları açıklanacaktır.

4.2.1. Türkiye için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi sonuçları

Bu alt kesimde, Türkiye'de yaşayan 15-16 yaş grubundaki Türk öğrencilere ait fen bilimleri başarı puanları MSEM ile incelenmiştir. Kurulacak model için, PISA 2015 araştırması Türkiye verileri içerisinden 17 bağımsız değişken, 1 bağımlı değişken ve 1 sınıf değişkeni tanımlanmış ve SPSS programında düzenlenmiştir.

Bağımlı değişken:

Y: PISA 2015 verisinde yer alan fen bilimleri başarı puanının birinci değerini göstermektedir.

Bağımsız değişkenler:

Bağımsız değişkenler *grup içi* ve *gruplar arası* değişkenleri göstermektedir. PISA 2015 öğrenci anketinden belirlenen 10 değişken grup içi değişken, okul anketinden belirlenen 7 değişken ise gruplar arası değişken olarak alınmıştır.

Çizelge 4.4'te, uygulama için seçilen grup içi ve gruplar arası değişkenlere ait soru kodları gösterilmiştir. Öğrenci anketinden seçilen grup içi değişken, birinci seviyeyi temsil ettiği için "ST" kodu ile, okul anketinden seçilen gruplar arası değişken ise ikinci seviyeyi temsi ettiği için "SC" kodu ile başlamaktadır.

Çizelge 4.3. Değişkenlere ilişkin PISA 2015 veri kodları

Değişken	PISA 2015 Veri Kodu
Cinsiyet **(X_1)**	ST004D01T
Aile desteği **(X_2)**	**ST123Q**01NA-02NA-03NA-04NA
Fen çalışma saati **(X_3)**	**ST071Q**01NA
Fen dersinde faaliyet **(X_4)**	**ST098Q**02TA-05TA-08NA-09TA
Fen dersinde öğretmen yorumu **(X_5)**	**ST103Q**01NA-03NA-08NA-11NA
Fen dersinde öğretmen desteği **(X_6)**	**ST107Q**01NA-02NA-03NA
Fen benlik kavramı **(X_7)**	**ST094Q**01NA-02NA-03NA-04NA-05NA
Fen bilimlerine ilgi **(X_8)**	**ST095Q**04NA-07NA-08NA-13NA-15NA
Fen bilimleri aktivitesi **(X_9)**	**ST146Q**01NA-02NA-03NA…-09NA
Program türü **(X_{10})**	PROGN
Yerleşim Yeri **(X_{11})**	**SC001Q**01TA
Akıllı tahta sayısı **(X_{12})**	**SC004Q**05NA
Fen donanımı **(X_{13})**	**SC059Q**01NA
Laboratuvar **(X_{14})**	**SC059Q**04NA
Laboratuvar materyali **(X_{15})**	**SC059Q**06NA
Okul türü **(X_{16})**	**SC013Q**01TA
Öğretmen çalışma zamanı **(X_{17})**	**SC019Q**01NA01

X_1: PISA 2015 veri kümesinde standartlaştırılmış şekilde verilmektedir. PISA 2015 öğrenci anketinde "Cinsiyetiniz nedir?" sorusu sorulmuştur. SPSS programında değer içeriği olarak "1=Kadın, 2=Erkek" olarak girilmiştir.

X_2: Likert tipi ölçek puanları toplanarak belirlenmiştir. "Bu öğretim yılını düşündüğünüzde, aşağıda verilen ifadelere ne ölçüde katılıyorsunuz veya katılmıyorsunuz?" sorusu 4'lü likert tipinde ölçeklenen 4 maddeden oluşmaktadır:

- Ailem, okuldaki faaliyetlerle ilgilenir,
- Ailem, eğitim çabalarımı ve başarılarımı destekler,
- Ailem, okulda zorluklarla karşılaştığımda bana destek olur,
- Ailem, kendime güvenmem konusunda beni cesaretlendirir,

SPSS programında değer içeriği olarak "1=Kesinlikle katılmıyorum, 2=Katılmıyorum, 3=Katılıyorum, 4=Kesinlikle katılıyorum" olarak girilmiştir.

X_3: "Bu öğretim yılında, aşağıdaki derslere çalışmak için zorunlu okul programına ek olarak haftada yaklaşık kaç saat harcadınız?" sorusuna ait Fen dersini ölçen tek maddeden oluşmaktadır.

X_4: Likert tipi ölçek puanları toplanarak belirlenmiştir. "Okulda fen derslerini öğrenirken aşağıda verilen faaliyetler hangi sıklıkta gerçekleşmektedir?" sorusu 4'lü likert tipinde ölçeklenen 4 maddeden oluşmaktadır:

- Öğrenciler laboratuvarda uygulamalı deneyler yaparlar,

- Öğrencilerden, yaptıkları bir deneyden sonuç çıkarmaları istenir,
- Araştırmalar ile ilgili sınıf tartışması yapılmaktadır,
- Öğretmen, fen bilimlerinde öğrendiğimiz kavramların hayatla ilişkisini açık bir şekilde anlatır,

SPSS programında değer içeriği olarak "1=Her ders, 2=Derslerin çoğunda, 3=Bazı derslerde, 4=Hiç ya da hemen hemen hiç" olarak girilmiştir.

X_5: Likert tipi ölçek puanları toplanarak belirlenmiştir. "Aşağıda verilenler fen derslerinde öğretmen yorumu açısından ne sıklıkla olmaktadır?" sorusu 4'lü likert tipinde ölçeklenen 4 maddeden oluşmaktadır:

- Öğretmen bilimsel fikirleri açıklar,
- Öğretmenle tüm sınıf arasında tartışma gerçekleşir,
- Öğretmen bizim sorularımızı ele alır,
- Öğretmen bir fikir sunar,

SPSS programında değer içeriği olarak "1=Hiç ya da hemen hemen hiç, 2=Bazı derslerde, 3=Derslerin çoğunda, 4=Her derste ya da hemen hemen her derste" olarak girilmiştir.

X_6: Likert tipi ölçek puanları toplanarak belirlenmiştir. "Aşağıda verilenler fen derslerinde öğretmen desteği açısından ne sıklıkla olmaktadır?" sorusu 4'lü likert tipinde ölçeklenen 3 maddeden oluşmaktadır:

- Öğretmen, dersi sınıfın ihtiyacı ve bilgisine uyarlar,
- Bir öğrenci, herhangi bir konuyu veya bir görevi anlamakta güçlük çektiğinde öğretmen bu öğrenciye özel olarak yardımcı olur,
- Öğretmen, birçok öğrencinin anlamadığı ders veya konularda dersin yapısını değiştirir,

SPSS programında değer içeriği olarak "1=Hiç ya da hemen hemen hiç, 2=Bazı derslerde, 3=Derslerin çoğunda, 4=Her derste ya da hemen hemen her derste" olarak girilmiştir.

X_7: Likert tipi ölçek puanları toplanarak belirlenmiştir. "Aşağıda yer alan kendiniz ile ilgili ifadelere ne derece katılıyorsunuz ya da katılmıyorsunuz?" sorusu 4'lü likert tipinde ölçeklenen 5 maddeden oluşmaktadır:

- Fen bilimleri ile ilgili konuları öğrenirken genellikle eğlenirim,
- Fen bilimleri ile ilgili yazıları okumaktan zevk alırım,
- Fen bilimleri ile ilgili konularda çalışmak beni mutlu ediyor,

- Fen bilimleri hakkında yeni bilgiler edinmekten zevk alırım,
- Fen bilimleri ile ilgili bir şeyler öğrenmeye ilgi duyarım,

SPSS programında değer içeriği olarak "1=Kesinlikle katılmıyorum, 2=Katılmıyorum, 3=Katılıyorum, 4=Kesinlikle katılıyorum" olarak girilmiştir.

X_8: Likert tipi ölçek puanları toplanarak belirlenmiştir. "Aşağıda yer alan fen bilimleriyle ilgili konularla ne ölçüde ilgileniyorsunuz?" sorusu 5'li likert tipinde ölçeklenen 5 maddeden oluşmaktadır:

- Biyosfer (ör. ekosistem hizmetleri, sürdürülebilirlik),
- Hareket ve kuvvetler (ör. hız, sürtünme, manyetik ve yer çekimi kuvvetleri),
- Enerji ve dönüşümü (ör. enerjinin korunması, kimyasal reaksiyonlar),
- Evren ve tarihçesi,
- Bilimin, hastalıkları önlememizde bize nasıl yardımcı olduğu,

SPSS programında değer içeriği olarak "1=İlgilenmiyorum, 2=Fazla ilgi duymuyorum, 3=İlgileniyorum, 4=Çok ilgileniyorum, 5=Bunun ne olduğunu bilmiyorum" olarak girilmiştir.

X_9: Likert tipi ölçek puanları toplanarak belirlenmiştir. "Aşağıdakileri ne kadar sık yaparsınız?" sorusu 4'lü likert tipinde ölçeklenen 9 maddeden oluşmaktadır:

- Fen bilimleri ile ilgili televizyon programlarını izleme,
- Fen bilimleri konuları ele alan kitapları ödünç alma ya da satın alma,
- Fen bilimleri konuları ile ilgili internet sitelerini ziyaret etme,
- Fen bilimleri ile ilgili dergileri ya da gazete makalelerini okuma,
- Bilim kulübüne katılma,
- Bilgisayar programlarında ve sanal laboratuvarlarda doğal olayları yapay biçimde canlandırma,
- Bilgisayar programlarında ve sanal laboratuvarda teknik süreçleri yapay biçimde yapma,
- Ekoloji kuruluşlarının internet sitelerini ziyaret etme,
- Bloglar ve mikrobloglama üzerinden bilim, çevre veya ekoloji kuruluşlarının haberlerini takip etme,

SPSS programında değer içeriği olarak "1=Çok sık, 2=Düzenli aralıklarda, 3=Bazen, 4=Hiç ya da hemen hemen hiç" olarak girilmiştir.

X_{10}: PISA 2015 öğrenci anketinde "Okulunuzun program türü nedir?" sorusu sorulmuştur. SPSS programında değer içeriği "1=Temel eğitim, 2=Genel ortaöğretim, 3=Mesleki ve teknik ortaöğretim" olarak girilmiştir.

X_{11}: PISA 2015 okul anketinde "Aşağıdaki ifadelerden hangisi okulunuzun bulunduğu yerleşim yerini en iyi şekilde tanımlamaktadır?" sorusu sorulmuştur. SPSS programında değer içeriği "1= Köy veya kırsal alan (3,000'den az kişi), 2= Küçük kasaba (3,000-15,000 kişi), 3= Kasaba (15,000-100,000 kişi), 4= Şehir (100,000-1,000,000 kişi), 5= Büyük şehir (1,000,000' den fazla kişi)" olarak girilmiştir.

X_{12}: PISA 2015 okul anketinde "Okulunuzda yaklaşık olarak kaç tane etkileşimli akıllı tahta kullanıma hazırdır?" sorusu sorulmuştur.

X_{13}: PISA 2015 okul anketinde, "Diğer bölümlerle kıyaslandığında, okulumuzda fen bölümü tam donanımlıdır." ifadesi verilmiştir. SPSS programında değer içeriği "1=Evet, 2=Hayır" olarak girilmiştir.

X_{14}: PISA 2015 okul anketinde, "Benzer okullarla kıyaslandığında, tam donanımlı bir laboratuvarımız mevcuttur." ifadesi verilmiştir. SPSS programında değer içeriği "1=Evet, 2=Hayır" olarak girilmiştir.

X_{15}: PISA 2015 okul anketinde, "Bütün derslerde düzenli olarak kullanılabilecek yeterli laboratuvar materyalimiz vardır." ifadesi verilmiştir. SPSS programında değer içeriği "1=Evet, 2=Hayır" olarak girilmiştir.

X_{16}: PISA 2015 okul anketinde, "Okulunuz devlet okulu mu yoksa özel okul mu?" sorusu sorulmuştur. SPSS programında değer içeriği "1=Devlet okulu, 2=Özel okul" olarak girilmiştir.

X_{17}: PISA 2015 okul anketinde, "Tam zamanlı fen dersi öğretmenlerinin sayısı" sorusu sorulmuştur.

Clus (Sınıf): Okul sayısını göstermektedir. PISA 2015 araştırmasına Türkiye'den 187 okul, Singapur'dan 177 okul katılmıştır.

Türkiye için PISA 2015 veri kümesinde, belirlenen değişkenlere ait kayıp değerlere rastlanmıştır. Kayıp veriler, seri ortalaması yöntemiyle giderilmiştir. Bunun sonucunda, grup içi değişkenler (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}) ve gruplar arası değişkenler (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}) ile bağımlı değişkene ilişkin tanımlayıcı istatistikler belirlenmiştir.

Çizelge 4.5'te, grup içi, gruplar arası ve bağımlı değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler verilmiştir.

Çizelge 4.4. Türkiye için belirlenen değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Frekans	Yüzde (%)	Ortalama	Standart Sapma	Min. Değer	Maks. Değer
Cinsiyet (X_1)	**5895**				**1**	**2**
Kadın (1)	2938	49.8				
Erkek (2)	2957	50.2				
Aile desteği (X_2)	**5895**		**12.86**	**2.87**	**1**	**16**
Fen çalışma saati (X_3)	**5895**		**5.34**	**4.37**	**0**	**30**
Fen dersinde faaliyet (X_4)	**5895**		**10.59**	**3.12**	**1**	**16**
Fen dersinde öğretmen yorumu (X_5)	**5895**		**9.90**	**2.85**	**2**	**16**
Fen dersinde öğretmen desteği (X_6)	**5895**		**7.38**	**2.28**	**1**	**12**
Fen benlik kavramı (X_7)	**5895**		**13.32**	**4.17**	**1**	**20**
Fen bilimlerine ilgi (X_8)	**5895**		**12.78**	**4.31**	**1**	**25**
Fen bilimleri aktivitesi (X_9)	**5895**		**26.36**	**7.07**	**1**	**36**
Program türü (X_{10})	**5895**				**1**	**3**
Temel eğitim (1)	121	2.1				
Genel ortaöğretim (2)	3241	55.0				
Mesleki ve teknik ortaöğretim (3)	2533	43.0				
Yerleşim Yeri (X_{11})	**5895**		**3.96**	**1.01**	**1**	**5**
Köy veya kırsal alan (1)	72	1.2				
Küçük kasaba (2)	372	6.3				
Kasaba (3)	1776	30.1				
Şehir (4)	1286	21.8				
Büyük şehir (5)	2385	40.5				
Akıllı tahta sayısı (X_{12})	**5895**		**21**	**16**	**0**	**60**
Fen donanımı (X_{13})	**5895**				**1**	**2**
Evet (1)	1618	27.4				
Hayır (2)	4277	72.6				
Laboratuvar (X_{14})	**5895**				**1**	**2**
Evet (1)	1769	30.0				
Hayır (2)	4126	70.0				
Laboratuvar materyali (X_{15})	**5895**				**1**	**2**
Evet (1)	1716	29.1				
Hayır (2)	4179	70.9				
Okul türü (X_{16})	**5895**				**1**	**2**
Devlet okulu (1)	5653	95.9				
Özel okul (2)	242	4.1				
Öğretmen çalışma zamanı (X_{17})	**5895**		**7.13**	**5.97**	**1**	**53**
Clus (Sınıf)	**187**					
Fen başarı puanı (Y)	**5895**		**422.45**	**77.13**	**197.7**	**707.9**

Çizelge 4.5'te verilen grup içi değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistiklere göre:

Cinsiyet değişkenine (X_1) ait bulgular incelendiğinde, PISA 2015 araştırmasına katılan Türk öğrencilerin %49.8'inin kadın ve %50.2'sinin erkek olduğu gözlenmiştir. Likert tipi ölçek minimum puanı 1, maksimum puanı 16 olan aile desteği değişkeninin (X_2) ortalaması 12.86, standart sapması 2.87'dir. Minimum puanı 0, maksimum puanı 30 olan fen çalışma saati değişkeninin (X_3) ortalaması 5.34 ve standart sapması 4.37'dir. Likert tipi ölçek minimum puanı 1, maksimum puanı 16 olan fen dersinde faaliyet değişkeninin (X_4) ortalaması 10.59 ve standart sapması 3.12'dir. Likert tipi ölçek minimum puanı 2, maksimum puanı 16 olan fen dersinde öğretmen yorumu

değişkeninin (X_5) ortalaması 9.90 ve standart sapması 2.85'tir. Likert tipi ölçek minimum puanı 1, maksimum puanı 12 olan fen dersinde öğretmen desteği değişkeninin (X_6) ortalaması 7.38 ve standart sapması 2.28'dir. Likert tipi ölçek minimum puanı 1, maksimum puanı 20 olan fen benlik kavramı değişkeninin (X_7) ortalaması 13.32 ve standart sapması 4.17'dir. Likert tipi ölçek minimum puanı 1, maksimum puanı 25 olan fen bilimlerine ilgi değişkeninin (X_8) ortalaması 12.78 ve standart sapması 4.31'dir. Likert tipi ölçek minimum puanı 1 maksimum puanı 36 olan fen bilimleri aktivitesi değişkeninin (X_9) ortalaması 26.36 ve standart sapması 7.07'dir. Program türü değişkenine (X_{10}) ait bulgular incelendiğinde, temel eğitim veren okulların oranı %2.1, genel ortaöğretim veren okulların oranı %55.0 ve mesleki ve teknik ortaöğretim veren okulların oranı %43.0'tür.

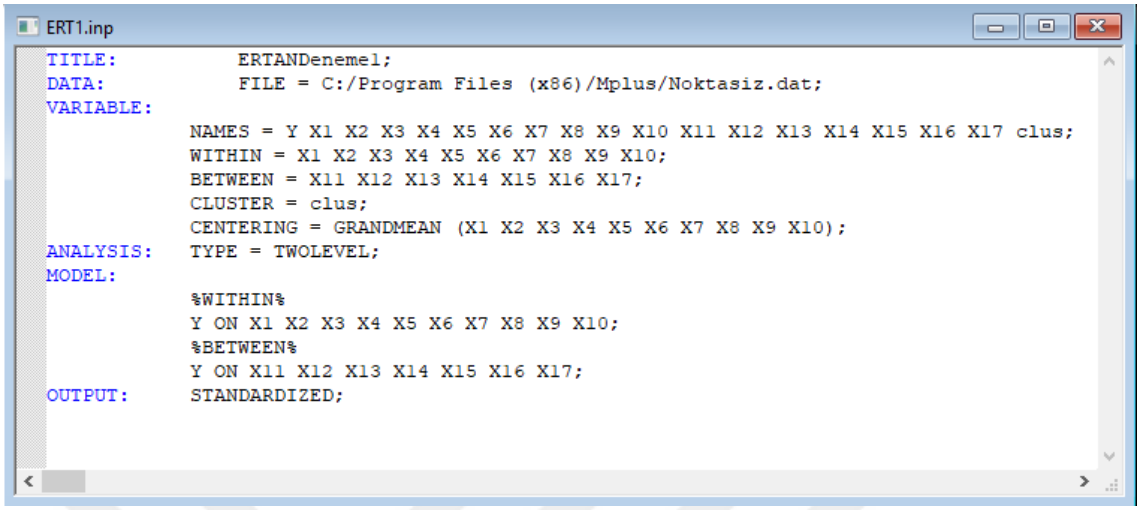
Çizelge 4.5'te verilen gruplar arası değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistiklere göre:

Yerleşim yeri değişkenine (X_{11}) ait bulgular incelendiğinde, yerleşim yeri köy veya kırsal alan olanların oranı %1.2, küçük kasaba olanların oranı %6.3, kasaba olanların oranı %30.1, şehir olanların oranı %21.8 ve büyük şehir olanların oranı %40.5'tir. Akıllı tahta sayısı değişkenine (X_{12}) ait bulgular incelendiğinde, okullardaki akıllı tahta ortalamasının 21 ve standart sapmasının 16 olduğu gözlenmiştir. Fen donanımı değişkenine (X_{13}) ait bulgular incelendiğinde, diğer okullara kıyasla fen donanımına sahip olan okulların oranı %27.4 ve sahip olmayan okulların oranı %72.6'dır. Laboratuvar değişkenine (X_{14}) ait bulgular incelendiğinde, diğer okullara kıyasla tam donanımlı laboratuvara sahip olan okulların oranı %30 ve sahip olmayan okullarının oranı %70'tir. Laboratuvar materyali değişkenine (X_{15}) ait bulgular incelendiğinde, bütün dersler için yeterli laboratuvar materyaline sahip olan okulların oranı %29.1 ve sahip olmayan okulların oranı %70.9'dur. Okul türü değişkenine (X_{16}) ait bulgular incelendiğinde, devlet okulu oranı %95.9 ve özel okul oranı %4.1'dir. Öğretmen çalışma zamanı değişkenine (X_{17}) ait bulgular incelendiğinde, okullardaki öğretmen çalışma zamanı ortalaması 7.13 ve standart sapması 5.97'dir.

Çizelge 4.5'te verilen fen başarı puanı değişkenine ait bulgular incelendiğinde, PISA 2015 araştırmasına Türkiye'den katılan 187 okuldan belirlenen 5895 öğrencinin fen başarı puanı ortalaması 422.45 ve standart sapması 77.13'tür. Minimum fen başarı puanı 197.7, maksimum fen başarı puanı 707.9'dir.

Model kurmak için SPSS programında hazırlanan veri kümesi, Mplus paket programında tanımlanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.16'da, PISA 2015

araştırması Türkiye verilerinin çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi ile analizi için syntax girdisi verilmiştir.



Şekil 4.1. Mplus Editor syntax girdisi (ERT1.inp)

TITLE: PISA 2015 araştırması Türkiye verilerine ilişkin Mplus programında gerçekleştirilen analiz için ERTANDeneme1 isminde bir başlık tanımlanmıştır.

DATA: Analiz için SPSS programında ".dat" uzantılı veri kümesi hazırlanmış ve "FILE = C:/Program Files (x86)/Mplus/Noktasiz.dat" içersine kaydedilmiştir.

VARIABLE: Bu üst komut altında "NAMES = Y X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10 X11 X12 X13 X14 X15 X16 X17 clus" ile değişkenlerin tamamı, "WITHIN = X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10" komutu ile grup içi değişkenler, "BETWEEN = X11 X12 X13 X14 X15 X16 X17" komutu ile gruplar arası değişkenler, "CLUSTER = clus" ile küme değişkeni tanımlanmıştır. Grup içi değişkenlere, "CENTERING = GRANDMEAN (X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10)" komutu ile merkezileştirme işlemi uygulanmıştır.

ANALYSIS: PISA 2015 verileri için oluşturulan iki seviyeli model "TYPE = TWOLEVEL" komutu ile tanımlanmıştır.

MODEL: Grup içi ve gruplar arası değişkenlerin modeldeki konumunu gösterir. Grup içi değişkenleri (%WITHIN%) Y bağımlı değişkenine bağlamak için "Y ON X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10", gruplar arası değişkenleri (%BETWEEN%) Y bağımlı değişkenine bağlamak için "Y ON X11 X12 X13 X14 X15 X16 X17" tanımlanmıştır.

OUTPUT: Standartlaştırılmış sonuçlar elde etmek için "STANDARDIZED" komutu tanımlanmıştır.

Daha sonra RUN sekmesi ya da tuşu seçilerek analiz syntaxı çalıştırılmıştır. PISA 2015 verilerine ait oluşturulan modele ilişkin analiz sonuçları "ert1.out" olarak kaydedilmiştir.

Birden fazla bağımsız değişkenin tek bir ölçüme yaptığı sınıf içi korelasyon katsayısı ICC=0.482>0.05 olarak hesaplanmıştır. Böylece, MSEM analizinin yapılabilmesi için gerekli olan şart sağlanmıştır.

PISA 2015 araştırması Türkiye verileri için belirlenen değişkenlere uygulanan çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesine ait analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Türkiye için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi Mplus sonuçları

Değişken	Tahmin	Standart Hata	Tahmin/ Standart Hata	P değeri
Bağımlı değişken				
Fen başarı puanı (Y)	421.869	31.674	13.319	0.000*
Grup içi değişkenler				
Cinsiyet (X_1)	0.054	0.017	3.144	0.002*
Aile desteği (X_2)	0.049	0.013	3.729	0.000*
Fen çalışma saati (X_3)	-0.076	0.014	-5.635	0.000*
Fen dersinde faaliyet (X_4)	0.114	0.013	8.425	0.000*
Fen dersinde öğretmen yorumu (X_5)	0.016	0.014	1.187	0.235
Fen dersinde öğretmen desteği (X_6)	0.077	0.014	5.563	0.000*
Fen benlik kavramı (X_7)	0.116	0.014	8.341	0.000*
Fen bilimlerine ilgi (X_8)	0.051	0.014	3.656	0.000*
Fen bilimleri aktivitesi (X_9)	0.091	0.014	6.499	0.000*
Program türü (X_{10})	-0.017	0.054	-0.319	0.750
Gruplar arası değişkenler				
Yerleşim Yeri (X_{11})	0.150	0.076	1.966	0.048*
Akıllı tahta sayısı (X_{12})	0.282	0.062	4.563	0.000*
Fen donanımı (X_{13})	-0.229	0.123	-1.856	0.043*
Laboratuvar (X_{14})	0.033	0.121	0.274	0.784
Laboratuvar materyali (X_{15})	-0.147	0.100	-1.476	0.140
Okul türü (X_{16})	0.073	0.060	1.204	0.229
Öğretmen çalışma zamanı (X_{17})	-0.030	0.047	-0.632	0.528

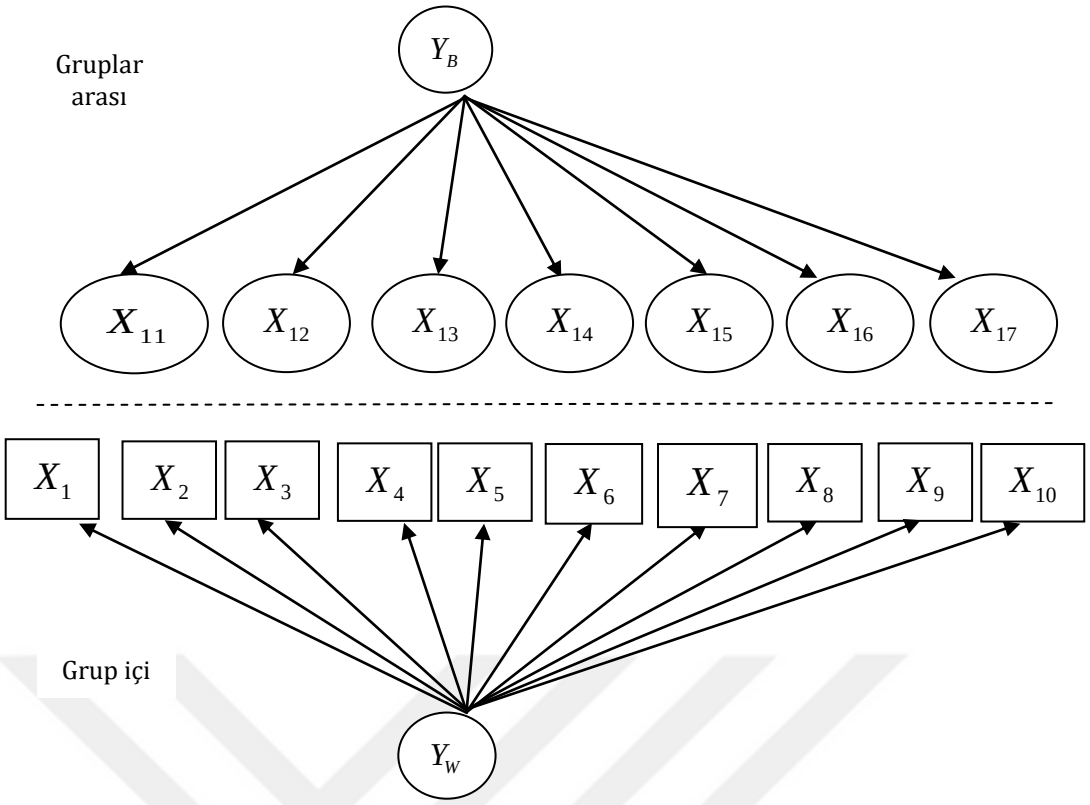
*: p value <0.05

Çizelge 4.6'da verilen sonuçlara göre, kurulan modelde grup içi değişkenlerden sekiz tanesi bağımlı değişkeni açıklamakta iken iki tanesi açıklayamamaktadır. Gruplar arası değişkenlerden üç tanesi bağımlı değişkeni açıklamakta iken, dört tanesi açıklayamamaktadır.

Öğrenci anketinden elde edilen grup içi değişkenlere ilişkin Mplus programı analiz sonuçları incelendiğinde, öğrencilerin fen dersindeki öğretmen yorumu (X_5=0.235>p=0.05) ve program türü (X_{10}=0.750>p=0.05) değişkenlerine göre fen bilimleri başarı puanı değişkenlik göstermemektedir. Fen bilimleri başarı puanını etkileyen değişkenlerin, cinsiyet (X_1=0.002<p=0.05), aile desteği (X_2=0.000<p=0.05), fen çalışma saati (X_3=0.000<p=0.05), fen dersinde faaliyet (X_4=0.000<p=0.05), fen dersinde öğretmen desteği (X_6=0.000<p=0.05), fen benlik kavramı (X_7=0.000<p=0.05), fen bilimlerine ilgi (X_8=0.000<p=0.05) ve fen bilimleri aktivitesi (X_9=0.000<p=0.05) olduğu görülmüştür.

Okul anketinden elde edilen gruplar arası değişkenlere ilişkin Mplus programı analiz sonuçları incelendiğinde, Türk öğrencilerin fen bilimleri başarı puanı öğrencilerin yerleşim yeri (X_{11}=0.048<p=0.05), akıllı tahta sayısı (X_{12}=0.000<p=0.05) ve fen bilimleri donanımı (X_{13}=0.043<p=0.05) değişkenlerine göre değişkenlik göstermektedir. Fen bilimleri başarı puanını etkilemeyen değişkenlerin laboratuvar (X_{14}=0.784>p=0.05), laboratuvar materyali (X_{15}=0.140>p=0.054), okul türü (X_{16}=0.229>p=0.05) ve öğretmen çalışma zamanı (X_{17}=0.528>p=0.05) olduğu görülmüştür.

PISA 2015 araştırması Türkiye verileri için kurulan grup içi ve gruplar arası değişkenlerin belirtildiği çok seviyeli yapısal eşitlik modeli Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Türkiye için kurulan modele ait çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi gösterimi

Türkiye için kurulan çok seviyeli yapısal eşitlik modeli,

$$\begin{aligned} Y_{ij} &= \gamma_{00} + \gamma_{10}X_1 + \gamma_{20}X_2 + \gamma_{30}X_3 + \gamma_{40}X_4 + \gamma_{50}X_5 + \gamma_{60}X_6 \\ &+ \gamma_{70}X_7 + \gamma_{80}X_8 + \gamma_{90}X_9 + \gamma_{100}X_{10} + \gamma_{01}X_{11} + \gamma_{02}X_{12} \\ &+ \gamma_{03}X_{13} + \gamma_{04}X_{14} + \gamma_{05}X_{15} + \gamma_{06}X_{16} + \gamma_{07}X_{17} + \tau_{0j} + e_{ij} \end{aligned} \quad (4.1)$$

olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 4.6. Türkiye için kurulan modele ilişkin uyum iyiliği istatistikleri

Uyum iyiliği indeksi	Modelden elde edilen sonuç	Kriter
CFI	1.000	≥0.97 olduğundan iyi uyum
TLI	1.000	≥0.95 olduğundan iyi uyum
RMSEA	0.000	≤0.05 olduğundan iyi uyum
SRMR	0.000	≤0.05 olduğundan iyi uyum

PISA 2015 araştırması Türkiye verileri için kurulan modele ilişkin uyum istatistikleri, CFI=1.000>0.97 ve TLI=1.000>0.95, RMSEA=0.000<0.05 ve

SRMR=0.000<0.05 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Türkiye için kurulan modelin iyi uyuma sahip çok seviyeli yapısal eşitlik modeli olduğu belirlenmiştir.

4.2.2. Singapur için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi sonuçları

Singapur'da yaşayan 15-16 yaş grubu Singapurlu öğrencilere ait fen bilimleri başarı puanları MSEM ile incelenmiştir. PISA 2015 araştırması Singapur verileri içerisinden kurulacak model için 15 bağımsız değişken, 1 bağımlı değişken ve 1 sınıf değişkeni tanımlanmış ve SPSS programında düzenlenmiştir.

PISA 2015 araştırması Singapur veri kümesi için belirlenen değişkenlere ait kayıp veriler mevcut olduğundan, bu kayıp veriler seri ortalaması yöntemiyle giderilmiştir. Bunun sonucunda, grup içi değişkenler (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}) ve gruplar arası değişkenler (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}) ile bağımlı değişkene ilişkin tanımlayıcı istatistikler belirlenmiştir. Singapur verileri için Yerleşim Yeri (X_{11}) ve Laboratuvar Materyali (X_{15}) değişkenleri varyans homojenliğini varsayımını sağlamadığından kurulan modelden çıkartılmıştır.

Çizelge 4.8'de, Singapur verileri için grup içi ve gruplar arası değişkenler ile bağımlı değişkene ilişkin tanımlayıcı istatistikler gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Singapur için belirlenen değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Frekans	Yüzde (%)	Ortalama	Standart Sapma	Min. Değer	Maks. Değer
Cinsiyet (X_1)	**6115**				**1**	**2**
Kadın (1)	2973	48.6				
Erkek (2)	3142	51.4				
Aile desteği (X_2)	**6115**		**13.03**	**2.43**	**2**	**16**
Fen çalışma saati (X_3)	**6115**		**6.15**	**4.88**	**0**	**30**
Fen dersinde faaliyet (X_4)	**6115**		**11.64**	**3.25**	**3**	**16**
Fen dersinde öğretmen yorumu (X_5)	**6115**		**11.59**	**3.59**	**3**	**16**
Fen dersinde öğretmen desteği (X_6)	**6115**		**8.61**	**2.75**	**2**	**12**
Fen benlik kavramı (X_7)	**6115**		**15.01**	**3.42**	**2**	**20**
Fen bilimlerine ilgi (X_8)	**6115**		**14.35**	**3.71**	**2**	**25**
Fen bilimleri aktivitesi (X_9)	**6115**		**29.7**	**5.6**	**3**	**36**
Program türü (X_{10})	**6115**				**1**	**3**
Temel eğitim (1)	113	1.8				
Genel ortaöğretim (2)	5993	98.0				
Mesleki ve teknik ortaöğretim (3)	9	0.2				
Akıllı tahta sayısı (X_{11})	**6115**		**5**	**9**	**0**	**85**
Fen donanımı (X_{12})	**6115**				**1**	**2**
Evet (1)	5844	95.6				
Hayır (2)	271	4.4				
Laboratuvar (X_{13})	**6115**				**1**	**2**
Evet (1)	5372	87.8				
Hayır (2)	743	12.2				
Okul türü (X_{14})	**6115**				**1**	**2**
Devlet okulu (1)	5717	93.5				
Özel okul (2)	398	6.5				
Öğretmen çalışma zamanı (X_{15})	**6115**		**18.5**	**9.6**	**4**	**89**
Clus (Sınıf)	**177**					
Fen başarı puanı (Y)	**6115**		**546.39**	**104.5**	**228**	**888**

Çizelge 4.8'de verilen grup içi değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistiklere göre:

Cinsiyet değişkenine (X_1) ait bulgular incelendiğinde, PISA 2015 çalışmasına katılan öğrencilerin %48.6'sı kadın, %51.4'ü erkektir. Likert tipi ölçek minimum puanı 2, maksimum puanı 16 olan aile desteği değişkeninin (X_2) ortalaması 13.03 ve standart sapması 2.43'tür. Minimum puanı 0, maksimum puanı 30 olan fen çalışma saati değişkeninin (X_3) ortalaması 6.15 ve standart sapması 4.88'dir. Likert tipi ölçek minimum puanı 3, maksimum puanı 16 olan fen dersinde faaliyet değişkeninin (X_4) ortalaması 11.64 ve standart sapması 3.25'tir. Likert tipi ölçek minimum puanı 3, maksimum puanı 16 olan fen dersinde öğretmen yorumu değişkeninin (X_5) ortalaması 11.59 ve standart sapması 3.59'dur. Likert tipi ölçek minimum puanı 2, maksimum puanı 12 olan fen dersinde öğretmen desteği değişkeninin (X_6) ortalaması 8.61 ve standart sapması 2.75'tir. Likert tipi ölçek minimum puanı 2, maksimum puanı 20 olan fen benlik kavramı değişkeninin (X_7) ortalaması 15.01 ve standart sapması 3.4''dir. Likert tipi ölçek minimum puanı 2, maksimum puanı 25 olan fen bilimlerine ilgi

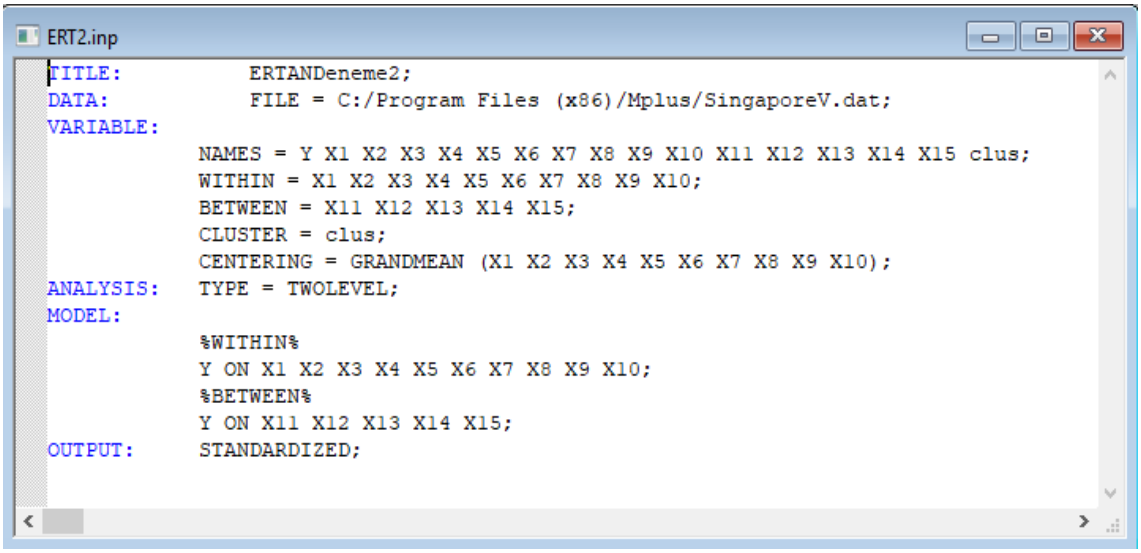
değişkeninin (X_8) ortalaması 14.35 ve standart sapması 3.71'dir. Likert tipi ölçek minimum puanı 3, maksimum puanı 36 olan fen bilimleri aktivitesi değişkeninin (X_9) ortalaması 29.7 ve standart sapması 5.6'dır. Program türü değişkenine (X_{10}) ait bulgular incelendiğinde, temel eğitim veren okulların oranı %1.8, genel ortaöğretim veren okulların oranı %98.0 ve mesleki ve teknik ortaöğretim veren okulların oranı %0.2'dir.

Çizelge 4.5'te verilen gruplar arası değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistiklere göre:

Akıllı tahta sayısı değişkenine (X_{11}) ait bulgular incelendiğinde, okullardaki akıllı tahta ortalamasının 5 ve standart sapmasının 9 olduğu gözlenmiştir. Fen donanımı değişkenine (X_{12}) ait bulgular incelendiğinde, diğer okullara kıyasla fen donanımına sahip olan okulların oranı %95.6 ve sahip olmayan okulların oranı %4.4'tür. Laboratuvar değişkenine (X_{13}) ait bulgular incelendiğinde, diğer okullara kıyasla tam donanımlı laboratuvara sahip olan okulların oranı %87.8 ve sahip olmayan okullarının oranı %12.2'dir. Okul türü değişkenine (X_{14}) ait bulgular incelendiğinde devlet okulu oranı %93.5 ve özel okul oranı %6.5'tir. Öğretmen çalışma zamanı değişkenine (X_{15}) ait bulgular incelendiğinde, okullardaki öğretmen çalışma zamanı ortalaması 18.5 ve standart sapması 9.6'dır.

Fen başarı puanı değişkenine ait bulgular incelendiğinde, PISA 2015 çalışmasına Singapur'dan katılan 177 okuldan belirlenen 6115 öğrencinin fen başarı puanı ortalamasının 546.39 ve standart sapmasının 104.5 olduğu gözlenmiştir. Minimum fen başarı puanı 228, maksimum fen başarı puanı 888'dir.

Singapur PISA 2015 verilerinin çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi ile incelenmesi için syntax girdisi Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Mplus Editor syntax girdisi (ERT2.inp)

Birden fazla bağımsız değişkenin tek bir ölçüme yaptığı sınıf içi korelasyon katsayısı ICC=0.496>0.05 olarak elde edildiğinden MSEM analizinin yapılabilmesi için gerekli şart sağlanmıştır.

PISA 2015 araştırması Singapur verilerinden belirlenen değişkenler için uygulanan çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesine ait analiz sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Singapur için çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi Mplus sonuçları

Değişken	Tahmin	Standart Hata	Tahmin/ Standart Hata	P değeri
Bağımlı değişken				
Fen başarı puanı (Y)	456.474	26.629	17.142	0.000*
Grup içi değişkenler				
Cinsiyet (X_1)	0.008	0.013	0.603	0.006*
Aile desteği (X_2)	0.013	0.014	0.917	0.359
Fen çalışma saati (X_3)	0.019	0.013	1.415	0.047*
Fen dersinde faaliyet (X_4)	-0.109	0.015	-7.381	0.000*
Fen dersinde öğretmen yorumu (X_5)	-0.049	0.019	-2.559	0.010*
Fen dersinde öğretmen desteği (X_6)	-0.009	0.019	-0.461	0.645
Fen benlik kavramı (X_7)	0.271	0.014	19.076	0.000*
Fen bilimlerine ilgi (X_8)	0.096	0.016	6.171	0.000*
Fen bilimleri aktivitesi (X_9)	0.101	0.016	6.378	0.000*
Program türü (X_{10})	0.131	0.013	9.910	0.000*
Gruplar arası değişkenler				
Akıllı tahta sayısı (X_{11})	-0.202	0.058	-3.465	0.001*
Fen donanımı (X_{12})	0.009	0.068	0.138	0.890
Laboratuvar (X_{13})	-0.115	0.067	-1.731	0.083
Okul türü (X_{14})	0.210	0.053	3.981	0.000*
Öğretmen çalışma zamanı (X_{15})	0.600	0.054	11.183	0.000*

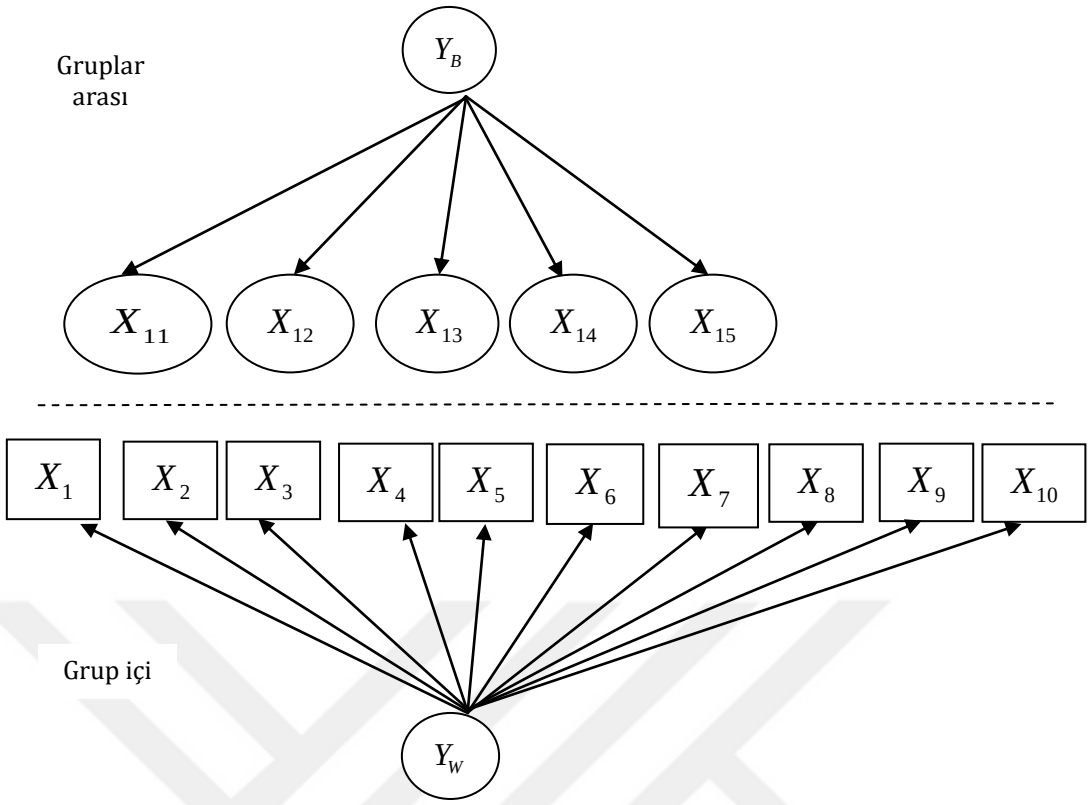
*: p value <0.05

Bu sonuçlara göre kurulan modelde grup içi değişkenlerden sekiz tanesi bağımlı değişkeni açıklamakta iken, iki tanesi açıklayamamaktadır. Gruplar arası değişkenlerden üç tanesi bağımlı değişkeni açıklamakta iken, iki tanesi açıklayamamaktadır.

Öğrenci anketinden elde edilen grup içi değişkenlere ilişkin Mplus programı analiz sonuçları incelendiğinde, öğrencilerin aile desteği (X_2=0.359>p=0.05) ve fen dersinde öğretmen desteği (X_6=0.645>p=0.05) değişkenlerine göre fen bilimleri başarı puanı değişkenlik göstermemektedir. Fen bilimleri başarı puanını etkileyen değişkenler, cinsiyet (X_1=0.006<p=0.05), fen çalışma saati (X_3=0.047<p=0.05), fen dersinde faaliyet (X_4=0.000<p=0.05), fen dersinde öğretmen yorumu (X_5=0.010<p=0.05), fen benlik kavramı (X_7=0.000<p=0.05), fen bilimlerine ilgi (X_8=0.000<p=0.05), fen bilimleri aktivitesi (X_9=0.000<p=0.05) ve program türü (X_{10}=0.000<p=0.05) olarak belirlenmiştir.

Okul anketinden belirlenen gruplar arası değişkenlere ilişkin Mplus programı analiz sonuçları incelendiğinde, Singapurlu öğrencilerin fen bilimleri başarı puanı, akıllı tahta sayısı (X_{11}=0.000<p=0.05), okul türü (X_{14}=0.000<p=0.05) ve öğretmen çalışma zamanı (X_5=0.000<p=0.05) değişkenlerine göre değişkenlik göstermektedir. Fen bilimleri başarı puanını etkilemeyen değişkenler; fen donanımı (X_{12}=0.890>p=0.05) ve laboratuvar (X_{13}=0.083>p=0.05) olarak belirlenmiştir.

Singapur PISA 2015 veri kümesi için kurulan grup içi ve gruplar arası değişkenlerin belirtildiği çok seviyeli yapısal eşitlik modeli Şekil 4.19'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Singapur için kurulan modele ait çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi gösterimi

Singapur için kurulan çok seviyeli yapısal eşitlik modeli;

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{10}X_1 + \gamma_{20}X_2 + \gamma_{30}X_3 + \gamma_{40}X_4 + \gamma_{50}X_5 + \gamma_{60}X_6 + \gamma_{70}X_7 + \gamma_{80}X_8 + \gamma_{90}X_9 + \gamma_{100}X_{10} + \gamma_{01}X_{11} + \gamma_{02}X_{12} + \gamma_{03}X_{13} + \gamma_{04}X_{14} + \gamma_{05}X_{15} + \tau_{0j} + e_{ij} \quad (4.2)$$

olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 4.9. Singapur için kurulan modele ilişkin uyum iyiliği istatistikleri

Uyum iyiliği indeksi	Modelden elde edilen sonuç	Kriter
CFI	1.000	≥0.97 olduğundan iyi uyum
TLI	1.000	≥0.95 olduğundan iyi uyum
RMSEA	0.000	≤0.05 olduğundan iyi uyum
SRMR	0.000	≤0.05 olduğundan iyi uyum

PISA 2015 araştırması Singapur verileri için kurulan modele ilişkin uyum istatistikleri, CFI=1.000>0.97 ve TLI=1.000>0.95, RMSEA=0.000<0.05 ve SRMR=0.000<0.05 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Singapur için kurulan modelin iyi uyuma sahip çok seviyeli yapısal eşitlik modeli olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Eğitim-öğretim kavramı gelişen ve değişen dünya düzeninde yaşam biçimine etki eden en önemli faktörlerden biridir. Alınan eğitimin kalitesinin bireylerin hayatı üzerinde olumlu ya da olumsuz etkileri olacağından eğitime büyük önem verilmektedir.

Yapısal eşitlik modellemesi (SEM), verilerin neden-sonuç ilişkisine dayalı hipotezlerin test edilmesi için uygulanan istatistiksel bir yöntemdir. Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi (MSEM) ise, hiyerarşik veri kümesi için kullanılan çok değişkenli bir analiz yöntemidir.

Çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi, psikoloji, ekonomi, örgütsel araştırma ve sosyoloji alanlarının yanı sıra eğitim alanında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde, özellikle PISA, TIMSS ve PIRLS gibi uluslararası araştırmalarda çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi analizinin oldukça yaygın biçimde kullanıldığı bilinmektedir.

Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA), 15-16 yaş arası öğrencilerin uluslararası düzeyde fen okuryazarlığı, matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri başarısının ölçüldüğü bir çalışmadır. PISA çalışması 2000 yılından itibaren her üç yılda bir uygulanmakta ve OECD tarafından finanse edilmektedir.

Bu çalışmada, çok seviyeli yapısal eşitlik modellemesi kullanılarak PISA 2015 araştırmasından alınan Türkiye ve Singapur verileri üzerinde iki seviyeli bir analiz yapılmıştır. PISA 2015 araştırmasında 15-16 yaş grubu öğrencilerin fen okuryazarlığı Mplus paket programı ile analiz edilmiştir.

PISA 2015 fen okuryazarlığı çok MSEM analiz sonuçlarına göre, Türk öğrencilerin fen bilimleri testinde göstermiş oldukları başarı performansını öğrenci anketinden belirlenen 8 değişkenden, okul anketinden belirlenen 3 değişkenden etkilendiği söylenebilir. Öğrenci anketine göre, cinsiyet, aile desteği, fen dersinde faaliyet, fen dersinde öğretmen yorumu, fen dersinde öğretmen desteği, fen benlik kavramı, fen bilimlerine ilgi ve fen bilimleri aktivitesinin artmasıyla fen başarı puanının arttığı gözlenmiştir. Fen çalışma saatindeki artışın ve program türünün, fen başarı puanını negatif yönde etkilediği görülmüştür. Okul anketine göre, fen başarı puanı, yerleşim yeri, akıllı tahta sayısı, laboratuvar ve okul türüne göre artış gösterirken fen donanımı, laboratuvar materyali ve öğretmen çalışma zamanına göre azalış göstermektedir.

Bu sonuçlar incelendiğinde, aile desteğinin öğrenci üzerinde büyük bir etkisinin olduğu görülmüştür. Türkiye'de yerleşim yerine göre eğitime destek şartlarının köyden

şehre doğru gidildikçe iyileştiği görülmüştür. Eğitimde kullanılan akıllı tahta sayısının arttırılmasının fen bilimleri başarı puanı üzerinde olumlu etki yarattığı söylenebilir. Ayrıca, fen derslerinde sağlanan laboratuvar materyali ve fen donanımının öğrenme kapasitesi üzerinde olumlu etkisi olduğu söylenebilir.

Singapur için PISA 2015 fen okuryazarlığı MSEM analiz sonuçlarına göre, Singapurlu öğrencilerin fen bilimleri testinde göstermiş oldukları başarı performansını öğrenci anketinden belirlenen sekiz değişkenin etkilediği, okul anketinden belirlenen üç değişkenin etkilediği tespit edilmiştir. Öğrenci anketine göre, cinsiyet, aile desteği, fen çalışma saati, fen benlik kavramı, fen bilimlerine ilgi, fen bilimleri için yapılan aktivite ve program türüne göre fen başarı puanının arttığı gözlenmiştir. Fen dersinde faaliyet, fen dersinde öğretmen yorumu ve fen dersinde öğretmen desteğinin fen başarı puanını negatif yönde etkilediği görülmüştür. Türkiye öğrencilerinden farklı olarak, fen çalışma saatindeki artış Singapurlu öğrencilerin fen başarısını pozitif yönde etkilemektedir. Okul anketine göre, Singapurlu öğrencilerin fen bilimleri başarı puanı, fen donanımı ve okul türüne göre artış göstermekte iken akıllı tahta sayısı ve laboratuvara göre azalış göstermektedir.

Hem Türkiye hem de Singapur için kurulan çok seviyeli yapısal eşitlik modeli iyi uyuma sahiptir. Fen başarı puanını etkileyen faktörler için kurulan model, fen okuryazarlığı alanında başarılı olmak için dikkat edilmesi gereken konuları belirlemeye yol gösterici olabilmektedir.

Bu çalışma sonucunda, ebeveynlerin çocukları üzerindeki etkisinin ayrıntılı olarak incelendiği çalışmaların yapılması önerilmektedir. Öğrencilerin yerleşim yeri fen başarı puanı etkilendiğinden, öğrencilerin eğitimini şehirlerde sürdürmesi önerilebilir. Türkiye'de öğrencilerin derse olan ilgisini arttırmak için dersin yoğun içeriği değiştirilebilir. Türkiye için kurulan modele göre, derse verilen yoğun ilgi öğrencileri dersten uzaklaştırırken, Singapur için kurulan modele göre ise, derse verilen yoğun ilgi öğrencileri derse yakınlaştırma eğilimindedir. Türkiye'deki ders saatlerinin düzenlenmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

Acar, T. ve Öğretmen, T., 2012, Çok düzeyli istatistiksel yöntemler ile 2006 PISA fen bilimleri performansının incelenmesi, *Eğitim ve Bilim*, 37 (163), 179-189.

Aksu, G., Eser, M. T. ve Güzeller, C. O., 2017, Açımlayıcı ve Doğrulayıcı Faktör Analizi ile Yapısal Eşitlik Modeli Uygulamaları, *Ankara*, Detay Yayıncılık.

Alkış, N., 2016, Bayes Yapısal Eşitlik Modellemesi: Kavramlar Ve Genel Bakış, *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 2 (3), 105-116.

Anıl, D. ve Güzeller, C. O., 2011, Seviye belirleme sınavı fen ve teknoloji alt testi ile diğer alt testler arasındaki ilişkinin yol analizi ile incelenmesi, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11 (1), 1-10.

Asparouhov, T. ve Muthén, B. O., 2014, Multiple-group factor analysis alignment, *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 21 (4), 495-508.

Aydın, B., 2016, Çok Düzeyli Modeller: Sürekli Değişken ile İki Düzeyli Model Örneği ve R Programı ile Analizi, *Ege Eğitim Dergisi*, 2 (17), 567-596.

Ayyıldız, H. ve Cengiz, E., 2006, Pazarlama modellerinin testinde kullanılabilecek yapısal eşitlik modeli (YEM) üzerine kavramsal bir inceleme, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11 (2), 63-84.

Barrett, P., 2007, Structural equation modelling: Adjudging model fit, *Personality and Individual Differences*, 42 (5), 815-824.

Belvederi Murri, M., Mamberto, S., Briatore, L., Mazzucchelli, C., Amore, M. ve Cordera, R., 2017, The interplay between diabetes, depression and affective temperaments: A structural equation model, *Journal of Affective Disorders*, 219, 64-71.

Bendermacher, G., oude Egbrink, M., Wolfhagen, H., Leppink, J. ve Dolmans, D., 2017, Reinforcing pillars for quality culture development: a path analytic model, *Studies in Higher Education*, 1-20.

Bentler, P. M. ve Bonett, D. G., 1980, Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structures, *Psychological bulletin*, 88 (3), 588-596.

Bentler, P. M., 1990, Comparative fit indexes in structural models, *Psychological bulletin*, 107 (2), 238-248.

Blalock, H. M., 1965, Theory building and the statistical concept of interaction, *American Sociological Review*, 374-380.

Bollen, K. A., 1986, Sample size and Bentler and Bonett's nonnormed fit index, *Psychometrika*, 51 (3), 375-377.

Bollen, K. A., 1989, Measurement models: The relation between latent and observed variables, In: Structural equations with latent variables, Eds, 179-225.

Boomsma, A., 2000, Book Review of Basics of Structural Equation Modeling, by Geoffrey M. Maruyama, *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 7 (1), 142-148.

Boudon, R., 1965, A method of linear causal analysis: Dependence analysis, *American Sociological Review*, 365-374.

Bradley, C. S., 2017, Confirmatory Factor Analysis of the Debriefing for Meaningful Learning Inventory, *Clinical Simulation in Nursing*, 10, 1-6.

Brown, M. ve Cudeck, R., 1993, EQS structural equations program manual, *Los Angeles*, Multivariate Software Inc.

Camgoz-Akdag, H. ve Zaim, S., 2012, Education: a comparative structural equation modeling study, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 47, 874-880.

Can, S., Somer, O., Korkmaz, M. ve Dural, S., 2010, Çok Düzeyli Yapısal Eşitlik Modelleri Üzerine Örnek Bir Uygulama, *Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi*, 1 (1), 9-15.

Can, S., Somer, O., Korkmaz, M., Dural, S. ve Öğretmen, T., 2011, Çok Düzeyli Yapısal Eşitlik Modelleri, *Türk Psikoloji Dergisi*, 26 (67), 14-21.

Can, S., 2012, Çoklu Bağlantısallığın Çok Düzeyli Yapısal Eşitlik Modellemesi Üzerindeki Etkisi, *Ege Üniversitesi*, İzmir.

Çelik, H. E., 2009, Yapısal Eşitlik Modellemesi ve Bir Uygulama: Genişletilmiş Online Alışveriş Kabul Modeli, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, Eskişehir.

Cha, E., Sanderson, M., Renter, D., Jager, A., Cernicchiaro, N. ve Bello, N. M., 2017, Implementing structural equation models to observational data from feedlot production systems, *Preventive veterinary medicine*, 147, 163-171.

Chen, J., Liu, P. ve Song, X., 2013, Bayesian diagnostics of transformation structural equation models, *Computational Statistics & Data Analysis*, 68, 111-128.

Cheung, M. W.-L. ve Au, K., 2005, Applications of multilevel structural equation modeling to cross-cultural research, *Structural equation modeling*, 12 (4), 598-619.

Chou, C.-P. ve Bentler, P. M., 2002, Model modification in structural equation modeling by imposing constraints, *Computational Statistics & Data Analysis*, 41 (2), 271-287.

Chowa, G. A., Masa, R. D. ve Tucker, J., 2013, The effects of parental involvement on academic performance of Ghanaian youth: Testing measurement and relationships using structural equation modeling, *Children and Youth Services Review*, 35 (12), 2020-2030.

Çınar, Ö., 2013, Yapısal Eşitlik Modellemesi İle İş Tatmini, Örgütsel Bağlılık, Örgütsel Destek Ve Örgütsel Adaletin Örgütsel Çıktılar Üzerindeki Etkisinde Örgütsel Vatandaşlık Davranışının Aracılık Rolü: Kahramanmaraş Bankacılık Sektöründe Bir Alan Araştırması, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*, Kahramanmaraş.

Çoker, E., 2009, Çok-Düzeyli Regresyon Modelleri İle Çok-Düzeyli Yapısal Eşitlik Modellerinin Uygulamalı Karşılaştırılması, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi*, İstanbul.

Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G. ve Büyüköztürk, Ş., 2012, Sosyal bilimler için çok değişkenli istatistik: SPSS ve LISREL uygulamaları, *Ankara*, Pegem Akademi.

Cziráky, D., Sambt, J., Rovan, J. ve Puljiz, J., 2006, Regional development assessment: A structural equation approach, *European Journal of Operational Research*, 174 (1), 427-442.

Davidov, E., Dülmer, H., Schlüter, E., Schmidt, P. ve Meuleman, B., 2012, Using a multilevel structural equation modeling approach to explain cross-cultural measurement noninvariance, *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 43 (4), 558-575.

Dedrick, R. F. ve Greenbaum, P. E., 2011, Multilevel confirmatory factor analysis of a scale measuring interagency collaboration of children's mental health agencies, *Journal of Emotional and Behavioral Disorders*, 19 (1), 27-40.

Deniz, E., Bozdogan, H. ve Katragadda, S., 2011, Structural equation modeling (SEM) of categorical and mixed-data using the Novel Gifi transformations and information complexity (ICOMP) criterion, *Istanbul University Journal of the School of Business*, 40 (1), 86-123.

Depaoli, S. ve Clifton, J. P., 2015, A Bayesian approach to multilevel structural equation modeling with continuous and dichotomous outcomes, *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 22 (3), 327-351.

Diana, T., 2014, Validating delay constructs: An application of confirmatory factor analysis, *Journal of Air Transport Management*, 35, 87-91.

Du Toit, S. H. ve Du Toit, M., 2008, Multilevel structural equation modeling, In: Handbook of multilevel analysis, Eds: Springer, 435-478.

Dunn, E. C., Masyn, K. E., Jones, S. M., Subramanian, S. ve Koenen, K. C., 2015, Measuring psychosocial environments using individual responses: an application of multilevel factor analysis to examining students in schools, *Prevention Science*, 16 (5), 718-733.

Dursun, Y. ve Kocagöz, E., 2010, Yapısal Eşitlik Modellemesi Ve Regresyon: Karşılaştırmalı Bir Analiz, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 35, 1-17.

Dyer, N. G., Hanges, P. J. ve Hall, R. J., 2005, Applying multilevel confirmatory factor analysis techniques to the study of leadership, *The leadership quarterly*, 16 (1), 149-167.

Eboli, L. ve Mazzulla, G., 2012, Structural equation modelling for analysing passengers' perceptions about railway services, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 96-106.

Erşan, Ö., 2016, TIMSS 2011 Sekizinci Sınıf Öğrencilerinin Matematik Başarılarını Etkileyen Faktörlerin Çok Düzeyli Yapısal Eşitlik Modeliyle İncelenmesi, *Hacettepe Üniversitesi*, Ankara.

Foss, T., Jöreskog, K. G. ve Olsson, U. H., 2011, Testing structural equation models: The effect of kurtosis, *Computational Statistics & Data Analysis*, 55 (7), 2263-2275.

Ghanizadeh, A. ve Jahedizadeh, S., 2016, EFL teachers' teaching style, creativity, and burnout: A path analysis approach, *Cogent Education*, 3 (1), 1151997.

Goldstein, H., Bonnet, G. ve Rocher, T., 2007, Multilevel structural equation models for the analysis of comparative data on educational performance, *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 32 (3), 252-286.

Gottfredson, N. C., Panter, A. T., Daye, C. E., Allen, W. F. ve Wightman, L. F., 2009, The effects of educational diversity in a national sample of law students: Fitting multilevel latent variable models in data with categorical indicators, *Multivariate behavioral research*, 44 (3), 305-331.

Grimm, K. J., Ram, N. ve Estabrook, R., 2016, Growth modeling: Structural equation and multilevel modeling approaches, *United States of America*, Guilford Publications.

Heck, R. H., 2001, Multilevel modeling with SEM, *London*, Lawrence Erlbaum Associates.

Heise, D. R., 1970, Causal inference from panel data, *Sociological methodology*, 2, 3-27.

Hershberger, S. L., 2003, The growth of structural equation modeling: 1994-2001, *Structural equation modeling*, 10 (1), 35-46.

Hevey, D., Pertl, M., Thomas, K., Maher, L., Craig, A. ve Chuinneagain, S. N., 2010, Consideration of future consequences scale: Confirmatory factor analysis, *Personality and Individual Differences*, 48 (5), 654-657.

Holtmann, J., Koch, T., Lochner, K. ve Eid, M., 2016, A Comparison of ML, WLSMV, and Bayesian Methods for Multilevel Structural Equation Models in Small Samples: A Simulation Study, *Multivariate behavioral research*, 51 (5), 661-680.

Hox, J. J., 2002, Multilevel analysis: Techniques and applications, *London*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Hox, J. J., 1995, Applied multilevel analysis, *Amsterdam*, TT-publikaties.

Hox, J. J. ve Maas, C. J., 2001, The accuracy of multilevel structural equation modeling with pseudobalanced groups and small samples, *Structural equation modeling*, 8 (2), 157-174.

Hox, J. J. ve Bechger, T. M., 2007, An introduction to structural equation modeling, *Family Science Review*, 11, 354-373.

Hox, J. J., van de Schoot, R. ve Matthijsse, S., 2012, How few countries will do? Comparative survey analysis from a Bayesian perspective, *Survey Research Methods*, 6 (2), 87-93.

Hoyle, R. H., 1995, Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications, *London*, Sage.

İlhan, M. ve Çetin, B., 2014, LISREL ve AMOS Programları Kullanılarak Gerçekleştirilen Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) Analizlerine İlişkin Sonuçların Karşılaştırılması, *Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi*, 5 (2), 26-42.

Kaplan, D. ve Elliott, P. R., 1997, A didactic example of multilevel structural equation modeling applicable to the study of organizations, *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 4 (1), 1-24.

Kaplan, D., 2008, Structural equation modeling: Foundations and extensions, *United States of America*, Sage Publications.

Kaya, Ş., 2014, Yapısal Eşitlik Modellemesi: Baş Dönmesi, Kaygı Ve Bedensel Duyumları Abartma İlişkisi, *Uludağ Üniversitesi*, Bursa.

Kline, R. B., 2012, Assumptions in structural equation modeling, *American Psychological Association*, 111-125.

Knoke, D., 2003, Structural equation models, *Encyclopedia of social measurement*, 3, 689-695.

Kuntsche, E., Kuendig, H. ve Gmel, G., 2008, Alcohol outlet density, perceived availability and adolescent alcohol use: a multilevel structural equation model, *Journal of Epidemiology & Community Health*, 62 (9), 811-816.

Land, K. C., 1969, Principles of path analysis, *Sociological methodology*, 1, 3-37.

Lee, S. Y. ve Song, X. Y., 2010, Structural Equation Models A2 - Peterson, Penelope, In: International Encyclopedia of Education (Third Edition), Eds: Baker, E. ve McGaw, B., *Oxford*: Elsevier, 453-458.

Li, Y.-X., Kano, Y., Pan, J.-H. ve Song, X.-Y., 2012, A criterion-based model comparison statistic for structural equation models with heterogeneous data, *Journal of Multivariate Analysis*, 112, 92-107.

Longford, N. ve Muthén, B. O., 1992, Factor analysis for clustered observations, *Psychometrika*, 57 (4), 581-597.

Madigan, D. J., 2016, Confirmatory factor analysis of the Multidimensional Inventory of Perfectionism in Sport, *Psychology of Sport and Exercise*, 26, 48-51.

Marcoulides, G. A. ve Schumacker, R. E., 2013, Advanced structural equation modeling: Issues and techniques, *United States of America*, Psychology Press.

McDonald, R. P. ve Marsh, H. W., 1990, Choosing a multivariate model: Noncentrality and goodness of fit, *Psychological bulletin*, 107 (2), 247.

McNeish, D., 2017, Multilevel Mediation With Small Samples: A Cautionary Note on the Multilevel Structural Equation Modeling Framework, *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 24 (4), 609-625.

McQuitty, S., 2004, Statistical power and structural equation models in business research, *Journal of Business Research*, 57 (2), 175-183.

Mertler, C. A. ve Reinhart, R. V., 2016, Advanced and multivariate statistical methods: Practical application and interpretation, *London*, Routledge.

Meydan, C. H. ve Şeşen, H., 2011, Yapısal eşitlik modellemesi AMOS uygulamaları, *Ankara*, Detay Yayıncılık.

Morin, A. J., Marsh, H. W., Nagengast, B. ve Scalas, L. F., 2014, Doubly latent multilevel analyses of classroom climate: An illustration, *The Journal of Experimental Education*, 82 (2), 143-167.

Muthén, B. O. ve Satorra, A., 1989, Multilevel aspects of varying parameters in structural models, In: Multilevel analysis of educational data, Eds: Elsevier.

Muthén, B. O., 1991, Multilevel factor analysis of class and student achievement components, *Journal of Educational Measurement*, 28 (4), 338-354.

Muthén, B. O., 1994, Multilevel covariance structure analysis, *Sociological methods & research*, 22 (3), 376-398.

Muthén, B. O., Khoo, S. T. ve Gustafsson, J.-E., 1997, Multilevel latent variable modeling in multiple populations, *Unpublished manuscript*.

Muthén, L. K. ve Muthén, B. O., 1998, Mplus User's guide: Statistical analysis with latent variables, *Los Angeles*, Sixth Edition.

Nagase, M. ve Kano, Y., 2017, Identifiability of nonrecursive structural equation models, *Statistics & Probability Letters*, 122, 109-117.

Novak, M. ve Pahor, M., 2017, Using a multilevel modelling approach to explain the influence of economic development on the subjective well-being of individuals, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 30 (1), 705-720.

OECD, 2016, PISA 2015 Results (Volume I).

Oktay, E., Akıncı, M. M. ve Karaaslan, A., 2012, İstatistik Derslerinin İşletme Bölümü Müfredatındaki Derslerle Etkileşiminin Yol Analizi Yardımıyla İncelenmesi, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16 (1), 513-527.

Peugh, J. L. ve Enders, C. K., 2010, Specification searches in multilevel structural equation modeling: A Monte Carlo investigation, *Structural equation modeling*, 17 (1), 42-65.

Preacher, K. J., 2011, Multilevel SEM strategies for evaluating mediation in three-level data, *Multivariate behavioral research*, 46 (4), 691-731.

Preacher, K. J., Zhang, Z. ve Zyphur, M. J., 2011, Alternative methods for assessing mediation in multilevel data: The advantages of multilevel SEM, *Structural equation modeling*, 18 (2), 161-182.

Rabe-Hesketh, S., Skrondal, A. ve Pickles, A., 2004, Generalized multilevel structural equation modeling, *Psychometrika*, 69 (2), 167-190.

Rabe-Hesketh, S., Skrondal, A. ve Zheng, X., 2007, 10. Multilevel Structural Equation Modeling, In: Handbook of Latent Variable and Related Models, Eds, 209-227.

Reisinger, Y. ve Turner, L., 1999, Structural equation modeling with Lisrel: application in tourism, *Tourism Management*, 20 (1), 71-88.

Roesch, S. C., Aldridge, A. A., Stocking, S. N., Villodas, F., Leung, Q., Bartley, C. E. ve Black, L. J., 2010, Multilevel factor analysis and structural equation modeling of daily diary coping data: Modeling trait and state variation, *Multivariate behavioral research*, 45 (5), 767-789.

Ryu, E., 2011, Effects of skewness and kurtosis on normal-theory based maximum likelihood test statistic in multilevel structural equation modeling, *Behavior research methods*, 43 (4), 1066-1074.

Ryu, E., 2014, Model fit evaluation in multilevel structural equation models, *Frontiers in psychology*, 5, 1-9.

Sadia, R., Bekhor, S. ve Polus, A., 2017, Structural equations modelling of drivers' speed selection using environmental, driver, and risk factors, *Accident Analysis & Prevention*, 2-9.

Samioğlu, M., 2012, Yapısal Eşitlik Modellemesi ve Entelektüel Sermaye Üzerine Bir Uygulama, *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul.

Schreiber, J. B., 2008, Core reporting practices in structural equation modeling, *Research in social and administrative pharmacy*, 4 (2), 83-97.

Schreiber, J. B., 2017, Update to core reporting practices in structural equation modeling, *Research in social and administrative pharmacy*, 13 (3), 634-643.

Schumacker, R. E. ve Lomax, R. G., 2004, A beginner's guide to structural equation modeling, *Mahwah, New Jersey*, Lawrence Erlbaum Associates.

Shimizu, S. ve Kano, Y., 2008, Use of non-normality in structural equation modeling: Application to direction of causation, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 138 (11), 3483-3491.

Sivo, S. A., Fan, X., Witta, E. L. ve Willse, J. T., 2006, The search for" optimal" cutoff properties: Fit index criteria in structural equation modeling, *The Journal of Experimental Education*, 74 (3), 267-288.

Skrondal, A. ve Rabe-Hesketh, S., 2004, Generalized latent variable modeling: Multilevel, longitudinal, and structural equation models, *United States of America*, Crc Press.

Song, X.-Y. ve Lee, S.-Y., 2012, A tutorial on the Bayesian approach for analyzing structural equation models, *Journal of Mathematical Psychology*, 56 (3), 135-148.

Steiger, J. ve Lind, J., 1980, Statistically-based tests for the number of common factors: Paper presented at the Annual Spring Meeting of the Psychometric Society, *Iowa City*, 25 (2), 173-180.

Taş, U. E., Arıcı, Ö., Ozarkan, H. B. ve Özgürlük, B., 2016, PISA 2015 ulusal raporu, *Ankara: MEB*.

Taşkın, Ç. ve Akat, Ö., 2010, Araştırma yöntemlerinde yapısal eşitlik modelleme: LISREL ile marka değeri ölçümü örnekleri, *Bursa*, Ekin Basım Yayın Dağıtım.

Tukey, J. W., 1954, Causation, Regression, and Path Anaysis, *Statistics and mathematics in biology*, 35-66.

Wright, S., 1921, Systems of mating. I. The biometric relations between parent and offspring, *Genetics*, 6 (2), 111-123.

Wright, S., 1934, The method of path coefficients, *Annals of Mathematical Statistics*, 5, 161-215.

Wright, S., 1960, Path coefficients and path regressions: alternative or complementary concepts?, *Biometrics*, 16 (2), 189-202.

Yılmaz, V., 2015, Hazır Yazılımlar İle Yapısal Eşitlik Modellemesi: AMOS, EQS, LISREL, *Dumlupinar University Journal of Social Science/Dumlupinar Üniversitesi Soysyal Bilimler Dergisi* (44), 28-44.

Yuan, K.-H. ve Chan, W., 2008, Structural equation modeling with near singular covariance matrices, *Computational Statistics & Data Analysis*, 52 (10), 4842-4858.

Zhang, Y.-Q., Tian, G.-L. ve Tang, N.-S., 2016, Latent variable selection in structural equation models, *Journal of Multivariate Analysis*, 152, 190-205.

EKLER

EK-1 Türkiye için Mplus proramındaki fen bilimleri okuryazarlığına ait veri dosyası örneği

Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	Okul No
388	1	15	7	9	14	8	5	6	21	2	3	21	1	1	2	1	4	1
352	1	16	5	14	13	6	20	12	30	2	3	21	1	1	2	1	4	1
404	1	11	4	12	12	6	16	15	29	2	3	21	1	1	2	1	4	1
332	1	13	3	9	10	6	14	15	27	2	3	21	1	1	2	1	4	1
414	1	13	6	9	10	8	20	20	25	2	3	21	1	1	2	1	4	1
396	1	9	6	11	7	5	12	8	24	2	3	21	1	1	2	1	4	1
392	1	13	7	12	10	8	15	13	24	2	3	21	1	1	2	1	4	1
349	1	15	4	7	16	12	15	14	25	2	3	21	1	1	2	1	4	1
276	1	10	5	11	12	11	12	14	35	2	3	21	1	1	2	1	4	1
414	1	16	10	7	9	6	15	10	36	2	3	21	1	1	2	1	4	1
340	1	14	7	11	10	7	10	7	34	2	3	21	1	1	2	1	4	1
296	1	12	5	13	9	9	17	16	27	2	3	21	1	1	2	1	4	1
377	1	12	8	10	12	8	15	12	27	2	3	21	1	1	2	1	4	1
401	1	6	15	10	16	8	10	13	15	2	3	21	1	1	2	1	4	1
386	1	15	8	7	11	5	20	15	15	2	3	21	1	1	2	1	4	1
427	1	11	17	13	15	8	17	8	31	2	3	21	1	1	2	1	4	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
337	1	10	1	6	8	6	10	14	31	2	5	0	2	2	2	1	9	187
455	2	15	7	10	10	7	12	9	27	2	5	0	2	2	2	1	9	187
416	2	15	7	12	9	7	17	16	27	2	5	0	2	2	2	1	9	187
440	2	4	5	13	8	8	10	13	29	2	5	0	2	2	2	1	9	187
493	2	12	5	9	6	4	16	13	24	2	5	0	2	2	2	1	9	187
437	2	13	7	8	4	7	5	14	22	2	5	0	2	2	2	1	9	187
552	2	16	6	10	12	9	15	15	19	2	5	0	2	2	2	1	9	187
439	2	14	3	8	15	9	10	18	28	2	5	0	2	2	2	1	9	187
439	2	15	0	11	4	6	5	9	9	2	5	0	2	2	2	1	9	187
429	2	6	9	4	8	8	10	13	21	2	5	0	2	2	2	1	9	187
386	2	10	7	12	9	6	13	14	18	2	5	0	2	2	2	1	9	187
371	2	16	7	10	12	12	20	25	9	2	5	0	2	2	2	1	9	187
535	2	15	7	12	8	9	11	14	26	2	5	0	2	2	2	1	9	187
489	2	13	7	10	10	7	17	16	18	2	5	0	2	2	2	1	9	187
432	2	13	7	11	10	7	17	16	27	2	5	0	2	2	2	1	9	187
446	2	13	2	11	10	7	13	10	36	2	5	0	2	2	2	1	9	187

EK-2 Türkiye için Fen bilimleri okuryazarlığına ait Mplus syntaxı

```
TITLE:          ERTANDeneme1;
DATA:           FILE = C:/Program Files (x86)/Mplus/Noktasiz.dat;
VARIABLE:
        NAMES = Y X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10 X11 X12 X13 X14
X15 X16 X17 clus;
        WITHIN = X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10;
        BETWEEN = X11 X12 X13 X14 X15 X16 X17;
        CLUSTER = clus;
        CENTERING = GRANDMEAN (X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10);
ANALYSIS:   TYPE = TWOLEVEL;
MODEL:
        %WITHIN%
        Y ON X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10;
        %BETWEEN%
        Y ON X11 X12 X13 X14 X15 X16 X17;
OUTPUT:     STANDARDIZED;
```

EK-3 Singapur için Mplus proramındaki fen bilimleri okuryazarlığına ait veri dosyası örneği

Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	Okul No
612	2	16	12	12	8	8	15	14	27	2	0	1	1	2	28	1
623	2	14	8	10	11	8	20	19	24	2	0	1	1	2	28	1
511	2	16	1	8	12	9	15	15	24	2	0	1	1	2	28	1
620	2	14	15	10	14	9	15	13	32	2	0	1	1	2	28	1
480	2	16	9	8	16	10	17	19	17	2	0	1	1	2	28	1
610	2	15	5	9	12	8	13	14	29	2	0	1	1	2	28	1
489	1	15	6	20	20	15	14	12	32	2	0	1	1	2	28	1
661	1	16	10	7	7	12	20	18	25	2	0	1	1	2	28	1
512	1	16	2	20	20	15	15	12	24	2	0	1	1	2	28	1
625	1	16	8	13	8	7	10	7	36	2	0	1	1	2	28	1
560	1	13	19	9	13	12	7	13	30	2	0	1	1	2	28	1
672	1	16	5	11	6	12	20	17	19	2	0	1	1	2	28	1
667	1	16	20	6	16	11	18	17	20	2	0	1	1	2	28	1
557	1	15	30	15	9	6	15	17	26	2	0	1	1	2	28	1
594	1	15	4	12	12	9	14	16	34	2	0	1	1	2	28	1
387	1	16	4	10	12	8	14	16	27	2	0	1	1	2	28	1
687	1	16	11	10	16	12	20	17	36	2	0	1	1	2	28	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
574	1	16	6	11	11	9	15	16	27	2	0	1	1	1	22	177
630	1	12	1	8	12	7	15	14	27	2	0	1	1	1	22	177
643	1	12	2	14	12	6	10	10	36	2	0	1	1	1	22	177
707	1	13	2	12	12	10	20	14	33	2	0	1	1	1	22	177
642	1	14	4	13	11	8	13	12	34	2	0	1	1	1	22	177
589	1	16	6	8	13	12	12	15	29	2	0	1	1	1	22	177
642	1	16	4	12	12	9	15	13	36	2	0	1	1	1	22	177
604	1	16	13	10	11	8	20	16	27	2	0	1	1	1	22	177
684	1	14	14	13	14	11	20	16	23	2	0	1	1	1	22	177
619	1	15	6	12	13	11	19	13	30	2	0	1	1	1	22	177
518	1	14	7	16	8	7	13	12	34	2	0	1	1	1	22	177
652	1	16	7	12	14	9	20	12	28	2	0	1	1	1	22	177
511	1	12	2	13	8	6	17	13	35	2	0	1	1	1	22	177
578	1	12	21	9	12	8	17	12	30	2	0	1	1	1	22	177
582	1	12	1	12	15	8	15	12	35	2	0	1	1	1	22	177
632	1	12	6	9	12	9	15	14	31	2	0	1	1	1	22	177
710	1	12	2	13	12	9	15	11	31	2	0	1	1	1	22	177

EK-4 Singapur için Fen bilimleri okuryazarlığına ait Mplus syntaxı

```
TITLE:          ERTANDeneme2;
DATA:           FILE = C:/Program Files (x86)/Mplus/SingaporeV.dat;
VARIABLE:
        NAMES = Y X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10 X11 X12 X13 X14
X15 clus;
        WITHIN = X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10;
        BETWEEN = X11 X12 X13 X14 X15;
        CLUSTER = clus;
        CENTERING = GRANDMEAN (X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10);
ANALYSIS:   TYPE = TWOLEVEL;
MODEL:
        %WITHIN%
        Y ON X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10;
        %BETWEEN%
        Y ON X11 X12 X13 X14 X15;
OUTPUT:     STANDARDIZED;
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Ertan Akgenç
Uyruğu	**:**	T. C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Ardeşen 21/11/1991
Telefon	**:**	05425672608
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	statistician.ertan@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Emlak Konut Mimar Sinan Anadolu Lisesi**	**2009**
Üniversite	:	**Sinop Üniversitesi**	**2014**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi**	**devam ediyor**
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2017	**Talipsan Mağazacılık A.Ş.**	**Bütçe Planlama Uz.**
2014	**Barsan Global Lojistik A.Ş.**	**Operasyon Elemanı**

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

Masa Tenisi Antrenörlüğü, Latin-Türk Halk Dansları Amatör Eğitimci, Satranç Oyuncusu

YAYINLAR

1- Akgenç, E. ve Pehlivan, N. Y., 2018, Analysis of PISA-2015 Performance of Turkish Students by Multilevel Structural Equation Modeling, *11. International Statistics Days Conference (ISDC-2018)*, Muğla, 76.

2- Akarçay, Ö., Yaşar, E., ve Akgenç, E., 2017, Application of Multi-Criteria Decision-Making Methods in the Selection of Cargo Firms, *3rd International Researchers, Statisticians and Young Statisticians Congress (IRSYSC-2017),* Konya, 251.