



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**SERVİKAL VERTEBRAL ÖLÇÜMLER VE MAKİNE
ÖĞRENMESİ ALGORTİMALARI İLE ELDE EDİLEN İSKELET
YAŞININ, EL BİLEK RADYOGRAFİLERİNDEN ELDE EDİLEN
İSKELET YAŞI VE MATURASYON DÖNEMİ İLE
KARŞILAŞTIRMALI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ortodonti Programı

Uzmanlık Tezi

Dt. İrem KARAMEHMETOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Merve GONCA

RİZE

2023

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ortodonti Ana bilim dalında, Dr. Öğr. Üyesi Merve GONCA danışmanlığında, Arş. Gör. Dt. İrem KARAMEHMETOĞLU tarafından hazırlanan “Servikal vertebral ölçümler ve makine öğrenmesi algoritmaları ile elde edilen iskelet yaşının, el bilek radyografilerinden elde edilen iskelet yaşı ve maturasyon dönemi ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi” adlı bu tez çalışması, 14/04/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı, Adı Soyadı

İmza

Başkan:

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Birol ÖZEL

(Kocaeli Üniversitesi)

Üye:

Dr. Öğr. Üyesi Merve GONCA

(Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi)

Üye:

Dr. Öğr. Üyesi Büşra BEŞER

(Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi)

ETİK BEYAN

Ortodonti Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Servikal vertebral ölçümler ve makine öğrenmesi algoritmaları ile elde edilen iskelet yaşının, el bilek radyografilerinden elde edilen iskelet yaşı ve maturasyon dönemi ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Usul ve Esaslarına uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve/veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

14/04/2023

(İmza)

İrem KARAMEHMETOĞLU

ÖN SÖZ

Ortodonti Ana bilim dalı'ndaki eğitimim ve tez çalışmam boyunca bana her aşamada destek olan, bilgi ve deneyimlerini paylaşmasının yanı sıra motivasyonu ile de bana her zaman bana güç veren sevgili danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Merve GONCA'ya,

Asistanlık sürecimin ilk gününden itibaren her zaman bana destek olan, karşılaştığım her zorlukta yardım eden, uzmanlık sürecimin en kıymetli kazanımlarından Dr. Öğr. Üyesi Büşra BEŞER'e,

Uzmanlık eğitimimde bilgi ve tecrübesini benimle paylaşarak yol gösteren sevgili hocam Dr. Ümmühan Barçın ERÖZ DİLAVERE'e

Ortodonti Ana bilim dalı'ndaki asistan arkadaşlarıma ve bize her zaman güleryüzle yardımcı olan sevgili personelimize,

Uzmanlık sürecimin en büyük şanslarından olan, iyi ki tanışmışım dediğim diğer uzmanlık bölümlerindeki dostlarıma,

Hayatımın her aşamasında verdikleri emek, sevgi ve destekle beni yetiştiren, sahip olduğum için çok şanslı hissettiğim canım anneme, babama ve kardeşime,

İyi ve kötü her günümde yanımda olan ve beni her zaman destekleyen nişanlım Enes YILMAZ'a,

En içten sevgi ve saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

İrem KARAMEHMETOĞLU, 2023-RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	II
ETİK BEYAN	I
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR	VIII
TABLolar LİSTESİ	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Büyüme ve Gelişim	3
2.2. Büyüme ve Gelişimin Ortodontideki Önemi.....	3
2.3. Büyüme ve Gelişim Dönemleri	4
2.3.1. Bebeklik Dönemi (İnfantil Dönem)	4
2.3.2. Çocukluk Dönemi (Juvenil Dönem)	5
2.3.3. Gençlik Dönemi (Adolesan Dönem).....	5
2.3.4. Yetişkin Dönem (Adult Dönem).....	5
2.4. Büyüme Gelişim Döneminin Belirlenmesi	5
2.4.1. Morfolojik Yöntemler	6
2.4.1.1. Kronolojik Yaş	6
2.4.1.2. Boy Uzaması ve Ağırlık Artışı.....	6
2.4.1.3. İkincil Cinsiyet Özellikleri.....	6
2.4.2. Histolojik Yöntemler.....	7
2.4.3. Biyokimyasal Yöntemler	8
2.4.4. Radyolojik Yöntemler.....	8

2.4.4.1. El- Bilek Radyografileri.....	9
2.4.4.2. Panoramik Radyografiler	20
2.4.4.3. Lateral Sefalometrik Radyografiler	22
2.5. Yapay Zeka.....	32
2.5.1. Makine Öğrenmesi	32
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	33
3.1. Gpower Protokolü	33
3.2. Hasta Seçimi.....	35
3.3. Radyografik Ölçüm ve Değerlendirilmelerin Yapılması	35
3.3.1. Lateral Sefalometrik Radyografilerin Analizinde Kullanılan Noktalar ve Ölçümler	36
3.4. Çalışma Gruplarının Oluşturulması.....	44
3.4.1. Makine öğrenmesinde kullanılacak sınıflandırma yöntemleri.....	45
3.4.2. Makine öğrenmesinde kullanılacak regresyon yöntemleri	48
3.5. İstatistiksel Değerlendirme	48
3.5.1. Çalışma çıktısı 1 istatistiksel değerlendirme.....	48
3.5.2. Çalışma çıktısı 2 istatistiksel değerlendirme.....	49
4. BULGULAR.....	50
4.1. Metot Hatası	50
4.1. Çalışma çıktısı 1 bulguları.....	56
4.2. Çalışma çıktısı 2 bulguları.....	62
4.2.1. Çalışma çıktısı 2 ham veri erkek datasetine (dataset 1) ait bulgular....	63
4.2.2. Çalışma çıktısı 2 ham veri kız datasetine ait bulgular.....	80
4.2.3. Çalışma çıktısı 2 türetilmiş veri erkek datasetine ait bulgular	92
4.2.4. Çalışma çıktısı 2 türetilmiş veri kız datasetine ait bulgular	109

4.2.5. Çalışma çıktısı 2 en iyi model sonuçlarının değerlendirilmesi	124
5. TARTIŞMA.....	125
5.1. Amacın Tartışılması	125
5.2. Gereç ve Yöntemin Tartışılması.....	129
5.3. Bulguların Tartışılması.....	131
5.3.1. Çalışma Çıktısı 1'in Bulgularının Tartışılması	131
5.3.2. Çalışma Çıktısı 2'nin Bulgularının Tartışılması	132
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	137
KAYNAKÇA.....	138
EKLER	146
EK-1. Etik Kurul Onayı.....	146

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı: Ortodonti

Tez Türü: Retrospektif Arşiv Çalışması

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Merve GONCA

Hazırlayan: Arş. Gör. Dt. İrem KARAMEHMETOĞLU

Yıl: 2023

Sayfa Sayısı: 146

ÖZET

SERVİKAL VERTEBRAL ÖLÇÜMLER VE MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARI İLE ELDE EDİLEN İSKELET YAŞININ, EL BİLEK RADYOGRAFİLERİNDEN ELDE EDİLEN İSKELET YAŞI VE MATURASYON DÖNEMİ İLE KARŞILAŞTIRMALI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Amaç: Bu çalışmanın amacı; servikal vertebralarda yapılan ölçümlerin, makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak, Fishman büyüme gelişim sınıflamasında (evre 1, evre 2, evre 3) kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi (çalışma çıktısı 1) ve servikal vertebralarda yapılan ölçümlerden, regresyon analizi ile elde edilen iskelet yaşının, el-bilek radyografilerinden (Greulich ve Pyle methodu ile) elde edilen iskelet yaşı ile karşılaştırılmasıdır. (çalışma çıktısı 2).

Gereç ve Yöntem: Bu çalışmaya 7-18 yaş aralığında, aynı gün çekilmiş lateral sefalometrik ve el-bilek radyografileri bulunan 794 birey dahil edildi. Bireylerin el-bilek iskelet yaşı Greulich ve Pyle atlası ile, maturasyon dönemi ise Fishman'ın SMI kriterlerine göre belirlendi. Lateral sefalometrik radyografilerde C2, C3 ve C4 vertebraları üzerinde 144 ölçüm (44 lineer, 9 açısal, 91 oransal) yapıldı. Çalışma çıktısı 1 kısmında 6 farklı dataset üzerinden, servikal vertebralarda yapılan ölçümler yapay zeka algoritmaları ile Fishman sınıflamasına göre evre 1/2/3 olarak sınıflandırıldı. Kullanılan yapay zeka algoritmaları DVM (Destek Vektör Makinesi), GBM (Gradyan Güçlendirme Makinesi), MLP (Çok katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı)'dır. Çalışma çıktısı 2 kısmında ölçülen parametreler üzerinden 4 farklı datasette regresyon analizi ile servikal vertebra iskelet yaşı elde edildi. Regresyon analizi için Ridge, Lasso ve Elastik Net regresyon yöntemleri kullanıldı. Çalışma sonuçları R^2 (açıklanabilirlik düzeyi) üzerinden değerlendirildi.

Bulgular: Çalışma çıktısı 1'de; Ham veri sınıflamasında en başarılı algoritma MLP olurken, türetilmiş veride DVM algoritması daha başarılı bulunmuştur. Oluşturulan datasetlere kronolojik yaş ve cinsiyet değişkenlerinin eklenmesi algoritmaların sınıflama başarısını arttırmıştır. Tüm algorimalarda en başarılı sonuç evre 3'te elde edilmiştir. Çalışma çıktısı 2'de; iskelet yaşını belirlemede en başarılı model Lasso regresyon analizi ile ham veri datasetlerinde elde edilmiştir. En başarılı modelde erkekler için iskelet yaşı: $0,185 \cdot \text{FVD Distance} + 0,534 \cdot \text{FiVD Distance} + 0,019 \cdot \text{PH3 Distance} + 0,448 \cdot \text{SVD Distance} + 0 \cdot \text{TVd Distance} + 0,647 \cdot \text{TVup-TVlp Distance} + 0 \cdot \text{UW3 Distance} + 0,259 \cdot \text{Y3 Distance} + 0,868$ ($R^2=0,783$), kızlar için iskelet yaşı: $0,481 \cdot \text{FiVD Distance} + 0,935 \cdot \text{FVD Distance} + 0,614 \cdot \text{SVD Distance} + 0 \cdot \text{TVpm-TVam Distance} + 0,513 \cdot \text{TVum-TVd Distance} - 0,149 \cdot \text{UW4 Distance} - 0,065 \cdot \text{UW5 Distance} + 0,494 \cdot \text{Y3 Distance} + 1,892$ ($R^2=0,741$) şeklinde oluşturulmuştur.

Sonuç: Çalışma çıktısı 1'in bulgularına göre; vertebral ölçümler maturasyon dönemini tahmin etmede tek başına yeterli olmamakla birlikte, yaş ve cinsiyet değişkenlerinin eklenmesiyle sınıflandırma için kullanılabilir bir araç olarak değerlendirilebilir. Çalışma çıktısı 2'den elde edilen bulgular sonucunda ise, ham veri parametreleri kullanılarak elde edilen iskelet yaşının kullanılabilir bir yöntem olduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Büyüme ve gelişim, makine öğrenmesi, regresyon, servikal vertebra, iskelet yaşı

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Orthodontics

Thesis Type : Retrospective Archive Study

Supervisor : Asst. Prof. Merve GONCA

Author : RA Dt. İrem KARAMEHMETOĞLU

Year : 2023

Pages : 146

ABSTRACT

COMPARATIVE EVALUATION OF SKELETAL AGE OBTAINED BY CERVICAL VERTEBRAL MEASUREMENTS AND MACHINE LEARNING ALGORITHMS WITH SKELETAL AGE AND MATURATION PERIOD OBTAINED FROM HAND WRIST RADIOGRAPHS

Aim: In study output 1, our aim is to evaluate the usability of Fishman growth and development classification (stage 1, stage 2, stage 3) by using machine learning algorithms in the measurement made on cervical vertebrae. In study output 2, it is aimed to compare the skeletal age obtained by regression analysis from measurements made in cervical vertebrae with the skeletal age obtained from hand-wrist radiographs.

Material and Method: A total of 794 individuals aged 7-18 years with lateral cephalometric and hand-wrist radiographs taken on the same day were included in this study. Hand and wrist skeletal age of individuals was determined by Greulich and Pyle atlas, and maturation period was determined according to Fishman's SMI criteria. 144 measurements (44 linear, 9 angular, 91 proportional) on C2, C3 and C4 vertebrae on lateral cephalometric radiographs. Measurements made on cervical vertebrae over 6 different datasets in part 1 of the study were classified as stage 1/2/3 according to Fishman classification with artificial intelligence algorithms. The artificial intelligence algorithms used are DVM (Support Vector Machine), GBM (Gradient Enhancement Machine), MLP (Multilayer Perceptual Neural Network). Cervical vertebral skeletal age was obtained by regression analysis in 4 different datasets over the parameters measured in the 2 part of the study output. Ridge, Lasso and Elastic Net regression methods were used for regression analysis. Study results were evaluated on R2 (explainability level).

Results: In the work output 1; While MLP was the most successful algorithm in raw data classification, SVM algorithm was found to be more successful in derived data. Adding chronological age and gender variables to the created datasets increased the classification success of the algorithms. In all algorithms, the most successful result was obtained in stage 3. In the work output 2; the most successful model in determining skeletal age was obtained in raw data datasets with Lasso regression analysis. Skeletal age for boys in the most successful model: $0.185 \times \text{FVD Distance} + 0.534 \times \text{FiVD Distance} + 0.019 \times \text{PH3 Distance} + 0.448 \times \text{SVD Distance} + 0 \times \text{TVD Distance} + 0.647 \times \text{TVup-TVlp Distance} + 0 \times \text{UW3 Distance} + 0.259 \times \text{Y3 Distance} + 0.868$ ($R^2=0.783$), skeletal age for girls: $0.481 \times \text{FiVD Distance} + 0.935 \times \text{FVD Distance} + 0.614 \times \text{SVD Distance} + 0 \times \text{TVpm-TVam Distance} + 0.513 \times \text{TVum-TVd Distance} - 0.149 \times \text{UW4 Distance} - 0.065 \times \text{UW5 Distance} + 0.494 \times \text{Y3 Distance} + 1.89721$ ($R^2=0.741$).

Conclusion: According to the findings of study output 1; vertebral measurements are not sufficient to predict the maturation period but can be considered as a tool together with age and gender variables. As a result of the findings obtained from the study output 2, it can be said that the skeletal age obtained by using the raw data parameters is a usable method.

Key Words: Growth and development, machine learning, regression, cervical vertebra, skeletal age

KISALTMALAR

%:	Yüzde
Ark.:	Arkadaşları
CVM:	Cervical Vertebral Maturation Stage
mm:	Milimetre
GP:	Greulich and Pyle
TW-2:	Tanner Whitehouse 2
TW-3:	Tanner Whitehouse 3
SMI:	Skeletal Maturation Indicators
kW:	Kilowatt
mA:	Mikroamper
sn:	Saniye
SD:	Standart sapma
Min:	Minimum
Max:	Maksimum
CBCT:	Cone Beam Computed Tomography
C2:	2. servikal vertebra
C3:	3. servikal vertebra
C4:	4. servikal vertebra
C5:	5. servikal vertebra
DVM:	Destek vektör makinesi
GBM:	Gradyan Güçlendirme Makinesi
MLP:	Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Fishman'ın 'SMI' kriterlerinin ortalama görülme yaşları(66)	17
Tablo 2. Servikal vertebra referans noktaları	37
Tablo 3. Lineer yatay ölçümler	38
Tablo 4. Lineer dikey ölçümler	39
Tablo 5. Vertebralarda yapılan oransal ölçümler	40
Tablo 6. Yükseklik ölçümleri.....	41
Tablo 7. Genişlik ölçümleri	42
Tablo 8. Yükseklik ve genişlik oranları	42
Tablo 9. Köşegen uzunluk ölçümleri	43
Tablo 10. Köşegenler arası açisal ölçümler	43
Tablo 11. Vertebraların köşegenleri ile alt kenar uzunluğu arasındaki açisal ölçümler	44
Tablo 12. Vertebraların üst ve alt kenarları arasında kalan açisal ölçümler ..	44
Tablo 13. Çalışma çıktısı 1 datasetleri	45
Tablo 14. TP: Modelin pozitif tahmin ettiği pozitif durumları ifade eder. FP: Modelin negatif tahmin ettiği pozitif durumları ifade eder. FN: Modelin pozitif tahmin ettiği negatif durumları ifade eder. TN: Modelin negatif tahmin ettiği negatif durumları ifade eder.....	46
Tablo 15. Çalışma çıktısı 2 datasetleri	47
Tablo 16. Uzunluk ve açisal ölçümlerde gözlemci içi sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi.....	51
Tablo 17. Oransal ölçümlerde gözlemci içi sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi	52
Tablo 18. Uzunluk ve açisal ölçümlerde gözlemciler arası sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi.....	54
Tablo 19. Oransal ölçümlerde gözlemciler arası sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi.....	55
Tablo 20. Çalışma çıktısı 1 tahminin doğruluğuna ilişkin performans değerleri	57

Tablo 21. Çalışma çıktısı 2 tüm datasetlerde karışıklık matris sonuçları	62
Tablo 22. Ham veri erkek datasetine ait tanımlayıcı istatistikler.....	63
Tablo 23. Ham veri parametreleri ve kod adları	64
Tablo 24. Ham veri erkek datasetine ait doğrusallık istatistikleri.....	65
Tablo 25. Ham veri erkek datasetinde Ridge, Lasso ve Elastik Net model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu.....	67
Tablo 26. Ham veri erkek dataseti model sonuçlarına ait hata sonuçları	69
Tablo 27. Ham veri erkek datasetinde Ridge, Lasso ve Elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu.....	71
Tablo 28. Ham veri erkek datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları	77
Tablo 29. Ham veri kız datasetine ait tanımlayıcı istatistikler.....	80
Tablo 30. Ham veri kız datasetine ait doğrusallık istatistikleri.....	81
Tablo 31. Ham veri kız datasetinde Ridge, lasso ve elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu	82
Tablo 32. Ham veri kız datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları	83
Tablo 33. Ham veri kız datasetinde Ridge, lasso ve elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu	84
Tablo 34. Ham veri kız datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları	90
Tablo 35. Türetilmiş veri erkek datasetine ait tanımlayıcı istatistikler.....	92
Tablo 36. Türetilmiş veri parametrelerinin kod adları	95
Tablo 37. Türetilmiş veri erkek datasetine ait doğrusallık istatistikleri.....	96
Tablo 38. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge, lasso ve elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu.....	97
Tablo 39. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge, Lasso ve elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları	99
Tablo 40. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge, lasso ve elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu.....	100

Tablo 41. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları	107
Tablo 42. Türetilmiş veri kız datasetine ait tanımlayıcı istatistikler	109
Tablo 43. Türetilmiş veri kız datasetine ait doğrusallık istatistikleri	111
Tablo 44. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge, Lasso, elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu	113
Tablo 45. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge, lasso ve elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları	115
Tablo 46. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge, lasso ve elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu	116
Tablo 47. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları	122
Tablo 48. En iyi model sonucunun değerlendirilmesi	124
Şekil 1. Maturasyon aşamalarının büyüme hızı ile ilişkilendirilmesi (numaralandırma yukarıdaki sınıflamaya göre yapılmıştır)(76)	15
Şekil 2. Fishman'ın iskelet maturasyon göstergeleri (a: İskelet maturasyonunun değerlendirildiği alanlar, b: 11 iskelet maturasyon göstergesi (SMI), c: İskelet maturasyon göstergelerinin radyografik tanımlamaları)(66)	16
Şekil 3. Hagg ve Tarangerin el bilek radyografisinde incelediği alanlar ve aşamaları (a: sesamoid kemik kalsifikasyonu, b: 3. Parmağın distal falanksı (DP3) maturasyon aşamaları, c: 3. Parmağın orta falanksı (MP3) maturasyon aşamaları, d: radius distal epifizindeki maturasyon aşamaları)(65)	18
Şekil 4. Addüktör sesamoid kalsifikasyon aşamaları [Kız:(a:AS0, b:AS1, c:AS2, d:AS3), Erkek: (e: AS1, f:AS2, g:AS3)](64)	19
Şekil 5. Mendes ve ark. göre radiustaki epifiz-diafiz ilişkisi aşamaları	20
Şekil 6. Demirjian ve ark. diş gelişim dönemleri (79)	21
Şekil 7. Lamparski'nin servikal vertebra maturasyon aşamaları(84)	23
Şekil 8. C3 vertebraasına ait maturasyon göstergeleri	24
Şekil 9. Baccetti ve ark. servikal vertebra referans noktaları	26
Şekil 10. Baccetti ve ark. servikal vertebra maturasyon aşamaları 'CVMS'	27

Şekil 11. Baccetti ve ark.'nın modifiye 'CVMS' sınıflaması.....	28
Şekil 12. mito ve ark.'nın yaptığı ölçümler	31
Şekil 13. Servikal vertebralardaki referans noktaları.....	37
Şekil 14. lineer yatay ölçümler	38
Şekil 15. Lineer dikey ölçümler.....	39
Şekil 16. Yükseklik ve genişlik ölçümleri	41
Şekil 17. Köşegen uzunluk ölçümleri	43
Şekil 18. Açısal ölçümler	44
Şekil 19. Dataset 1'e ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)	58
Şekil 20. Dataset 2'ye ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)	59
Şekil 21. Dataset 3'e ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)	59
Şekil 22. Dataset 4'e ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)	60
Şekil 23. Dataset 5'e ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)	61
Şekil 24. Dataset 6'ya ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)	61
Şekil 25. Ham veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	72
Şekil 26. Ham veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	72
Şekil 27. Ham veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği	73
Şekil 28. Ham veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	74
Şekil 29. Ham veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	74

Şekil 30. Ham veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği	75
Şekil 31. Ham veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	76
Şekil 32. Ham veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	76
Şekil 33. Ham veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği	77
Şekil 34. Ham veri erkek datasetinde Ridge model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği	78
Şekil 35. Ham veri erkek datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği	78
Şekil 36. Ham veri erkek datasetinde Elastik net model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği.....	79
Şekil 37. Ham veri kız datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	85
Şekil 38. Ham veri kız datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	85
Şekil 39. Ham veri kız datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği	86
Şekil 40. Ham veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	87
Şekil 41. Ham veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	87
Şekil 42. Ham veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği	88
Şekil 43. Ham veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	89
Şekil 44. Ham veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	89

Şekil 45. Ham veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği	90
Şekil 46. Ham veri kız datasetinde Ridge model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği	91
Şekil 47. Ham veri kız datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği	91
Şekil 48. Ham veri kız datasetinde Elastik net model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği	92
Şekil 49. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	101
Şekil 50. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	102
Şekil 51. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği	102
Şekil 52. Türetilmiş veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	103
Şekil 53. Türetilmiş veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği	104
Şekil 54. Türetilmiş veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	104
Şekil 55. Türetilmiş veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	105
Şekil 56. Türetilmiş veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği	106
Şekil 57. Türetilmiş veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	106
Şekil 58. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği.....	108
Şekil 59. Türetilmiş veri erkek datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği.....	108

Şekil 60. Türetilmiş veri erkek datasetinde Elastik net model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği	109
Şekil 61. Türetilmiş veri kız Ridge regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	117
Şekil 62. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	118
Şekil 63. Türetilmiş veri kız Ridge regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	118
Şekil 64. Türetilmiş veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	119
Şekil 65. Türetilmiş veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	120
Şekil 66. Türetilmiş veri kız Lasso regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	120
Şekil 67. Türetilmiş veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	121
Şekil 68. Türetilmiş veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	121
Şekil 69. Türetilmiş veri kız Elastik net regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği.....	122
Şekil 70. Türetilmiş veri kız datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği	123
Şekil 71. Türetilmiş veri kız datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği	123
Şekil 72. Türetilmiş veri kız datasetinde Elastik net model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği	124

1. GİRİŞ

Bireylerin büyüme ve gelişim döneminin tespiti, ortodontik tedavinin tanı, tedavi planlaması ve tedavi prognozunu önemli ölçüde etkiler(1, 2). Büyüme gelişim dönemi sonlandıktan sonra şiddetli iskeletsel anomalilerin düzeltimi için ortognatik cerrahi uygulanması gerekir(3). Ayrıca büyüme gelişim dönemi ve iskelet yaşı tespiti; retansiyon protokolünün belirlenmesi, ortopedik ve ortodontik tedavi sonrasında relaps tahmini ve implant zamanının belirlenmesi için de gereklidir(4-7).

20. yüzyılın başında iskelet maturasyonunu değerlendirmek için el-bilek radyografileri kullanılmaya başlanmıştır(8). El-bilek radyografileri aracılığı ile büyüme gelişim değerlendirilmesinde; el-bilek atlasları yardımıyla iskelet yaşının belirlenmesi veya el-bilek kemiklerindeki kalsifikasyon süreçleri ve epifizyal değişimlerden maturasyon dönem tespiti yapılmaktadır. Geleneksel olarak bireylerin büyüme gelişim dönemlerinin belirlenmesinde altın standart el-bilek radyografileriyle elde edilmiş olsa da, servikal vertebra maturasyon evreleri aracılığıyla da belirlenebilir(9). El bilek radyografilerinin ekstra zaman ve maliyet gerektirmesi nedeniyle, günümüzde ortodontik tedavi öncesi rutin olarak alınan lateral sefalometrik radyografiler de büyüme gelişim dönemi tespiti için kullanılmaktadır (10). Fakat servikal vertebraların maturasyon dönemi tespitinde kullanılmasının tekrarlanabilirliği ve güvenilirliği üzerine yapılan çalışmaların(11, 12) olumsuz sonuçları nedeniyle daha objektif bir değerlendirme sağlanması amacıyla servikal vertebralardan morfometrik yöntemlerle iskelet yaşı tespiti için yeni yöntemler geliştirilmiştir.

Literatüre bakıldığında servikal vertebralarda lineer, açısal ve oransal ölçümler yaparak, çeşitli regresyon analizleri ile iskelet yaşı elde edilmiş birçok çalışma bulunmaktadır(13-16). Çalışmalar incelendiğinde, genellikle örneklem sayısının makine öğrenmesi yöntemleri için yeterli olmadığı ve iskelet yaşı üzerine etkisi henüz değerlendirilmeyen servikal vertebral parametreler olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple çalışmamız yeterli bir örneklem büyüklüğü üzerinde eksik parametreleri de dahil ederek kurgulanmıştır.

Günümüzde, teknolojiye büyük gelişmeler sayesinde ortodonti alanında tanı, tedavi ve prognoza yardımcı olması için bilgisayar programları rutin olarak kullanılmaktadır(9). Özellikle büyüme gelişim dönemini tespit etmek için oluşturulan sınıflamaların, makine öğrenmesi yöntemleri yardımıyla büyük veri havuzlarında

uygulanabilir olması hem bireye bağılı hataların önüne geçmekte hem de zaman açısından büyük tasarruf sağlamaktadır. Bu konuda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır(9, 17, 18).

Bizim çalışmamızın amacı; servikal vertebralarda yapılan ölçümlerin, makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak, Fishman büyüme gelişim sınıflamasında (evre1, evre 2, evre 3) kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi (çalışma çıktısı 1) ve servikal vertebralarda yapılan ölçümlerden, regresyon analizi ile elde edilen iskelet yaşını, el-bilek radyografilerinden (Greulich ve Pyle methodu ile) elde edilen iskelet yaşı ile karşılaştırmaktır (çalışma çıktısı 2).



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Büyüme ve Gelişim

Büyüme; mitotik bölünmeler ile hücre sayısının artması (hiperplazi), hücrelerin boyutlarının artması (hipertrofi) ve hücreler arası sıvının artmasının sonucu olarak meydana gelir(19). Büyüme, uzayın üç yönünde gerçekleşir ve canlıda hacimsel bir artış oluşturur. Gelişim, büyüme sırasında bir organın vücuda göre veya organın kendi içindeki yapıların oranlarının değişmesi, farklılaşması olarak tanımlanabilir. Başın tüm vücuda oranının doğumda 1/4 iken yetişkin dönemde 1/8 olması gelişime örnek olarak verilebilir(20).

Büyüme ve gelişim genetik, çevresel ve bireysel faktörlerin etkisi altındadır. Bireyin sağlığı, beslenmesi, ırkı ve cinsiyeti büyüme oranını etkiler(19). Büyüme ve gelişim döneminin tespiti, ortodontik tedavi ve retansiyon döneminde prognoz tahmini açısından büyük önem taşır.

2.2. Büyüme ve Gelişimin Ortodontideki Önemi

Ortodonti, diş, çene ve yüzün yumuşak dokularının birbiri ile olan ilişkisini inceleyen, normalden sapmış olan iskeletsel ve dental durumları büyüme gelişim dönemini dikkate alarak teşhis ve tedavi eden bilim dalıdır.

Bireylerin büyüme gelişim döneminin tespiti, ortodontik tedavinin tanı, tedavi planlaması ve tedavi prognozunu önemli ölçüde etkiler(1, 2). Dental anomaliler her yaşta tedavi edilebilirken, iskeletsel anomaliler için aynı şey söz konusu değildir. İskeletsel anomalilerin tedavisinde ortodontinin hedefine ulaşması ancak büyüme gelişim döneminde uygulanan aygıtlar sayesinde, büyümenin yönlendirilmesi ile mümkün olmaktadır. Büyüme gelişim dönemi bittikten sonra şiddetli iskeletsel anomalileri düzeltmek için ortodontik tedavi tek başına yeterli değildir ve ortognatik cerrahi uygulanması da gerekir(3). Tedavi bitiminde hastada devam eden büyüme potansiyelinin belirlenmesi, tedavi sonrası büyümenin devam etmesiyle oluşabilecek relapsın da tahmin edilebilmesini sağlar(4). Ricketts'e göre bir vakayı tedavi etmeden önce büyümenin vakayı tedavi etmede nasıl bir fayda sağlayacağı sorusu sorulmalı ve büyümeden yararlanabilmek için büyümenin miktarı, yönü ve büyüme atılımının en fazla olduğu dönemin bilinmesi gereklidir(21, 22). Birçok araştırmacı sınıf 2 bireylerde büyümenin yönlendirilmesi için en uygun zamanın pubertal atılım dönemi

olduğunu bildirmişlerdir(23, 24). Üst çene yetersizliğine bağlı sınıf 3 bireylerde ise erken dönemde tedavi önerilmektedir(25).

Ortodontik tedavilerin birçoğu, hastalar büyüme gelişim dönemindeyken başlar ve büyüme gelişim dönemi bitmeden sona erer. Tedavinin doğru zamanda planlanması ve başlanması kadar, retansiyon döneminin de doğru şekilde yürütülmesi önemlidir. Tedavi bitirildikten sonra hastanın büyümesinin devam etmesi, elde edilen dentoiskeletsel ilişkide değişikliklere sebep olabilir. Farklı maloklüzyonlara sahip bireylerde pubertal atılım ve büyümenin sonlanma yaşının farklılık göstermesi retansiyon protokolünü değiştirebilir. Örneğin; artmış alt yüz yüksekliğine sahip bireylerde pubertal büyüme atılımı, derin kapanışlı bireylere göre daha erken başlamakta ve daha kısa sürmektedir. İskeletsel derin kapanışa sahip bireylerde ise yüz büyümesi daha uzun süre devam ettiği için retansiyon döneminin daha uzun tutulması gerekmektedir(5). Bu yüzden tedavi başında büyüme gelişim dönemini dikkate aldığımız gibi tedavi bitiminde de bireyin mevcut olan büyüme potansiyeline göre retansiyon protokolü belirlenmelidir.

Ayrıca büyüme gelişim dönemi tespiti ortodontik tedavi sonrası implant planlanan genç bireylerde dental implant uygulamalarının zamanlamasının belirlenmesi için de gereklidir(6, 7). Büyüme gelişim bitmeden uygulanan dental implantlar osteointegrasyon nedeniyle normal büyüme gelişimi takip edemez ve uygulandıkları alanda büyümeyi durdurarak implant uygulanan bölgenin göreceli intrüzyonuna neden olurlar(7, 26).

2.3. Büyüme ve Gelişim Dönemleri

Büyüme gelişim bireyin yaşamı boyunca miktar ve hız olarak dönemsel farklılıklar gösterir. Büyüme atılımlarının belirlenmesi ortopedik etki hedeflenen tedavilerin zamanlaması açısından önemlidir. Bireyin doğumdan erişkin dönemine kadar gösterdiği büyüme atılımları belli dönemlere ayrılarak incelenmiştir(27).

2.3.1. Bebeklik Dönemi (İnfantil Dönem)

Bireyin doğumdan sonraki ilk 2 yılını kapsayan, büyüme ve gelişimin çok hızlı olduğu dönemdir. Süt dişlenmenin gerçekleştiği dönem olduğu için fasiyal gelişimde önemli bir yere sahiptir. Ortodontik tedavi açısından uygun bir dönem olmamakla birlikte oluşabilecek anomaliler için koruyucu önlemler alınabilir(27).

2.3.2. Çocukluk Dönemi (Juvenil Dönem)

Bebeklik döneminin sonundan puberte öncesi döneme kadar olan dönemdir. Bu dönemde büyüme, bebeklik döneminde olduğu kadar olmasa da hızlı kabul edilir. Bu dönemin bitiminde (puberte öncesi) ise büyüme hızı en aza düşer.

Bu dönemde birey karma dişlenme dönemindedir. Koruyucu ve önleyici tedaviler için uygun bir dönemdir(27).

2.3.3. Gençlik Dönemi (Adolesan Dönem)

Çocukluk dönemi bittikten sonra adolesan dönem başlar ve yaklaşık olarak 22-24 yaşlarına kadar devam eder. Bu dönemde, çocukluk döneminin sonunda minimum seviyesine düşen büyüme hızı tekrar artmaya başlar. Erkek ve kızlarda pubertal belirtiler (erkeklerde ses kalınlaşması, kıllanma, kızlarda menarş ve göğüs belirginleşmesi) görülür(28). Bu değişimler pubertal büyüme atılımının başladığının göstergesidir.

Pubertal atılım tepe noktasına ulaştığında büyüme hızı maksimum seviyesindedir. Bu aşamadan sonra büyüme hızı azalmaya başlar ve büyüme bittiğinde adolesan dönem son bulur.

Bu dönemde koruyucu ve önleyici tedavilere ek olarak düzeltici tedaviler uygulanır. İskeletsel anomalilerin tedavisi için en uygun dönemdir. Birçok araştırmacı sınıf 2 fonksiyonel tedavilerin pubertal atılım döneminde yapılması gerektiğini savunmuştur(23, 28, 29). Bu dönemden sonra iskeletsel anomalilerin düzeltimi başarılı bir sonuç vermez ve ortognatik cerrahi ile birlikte ortodontik tedavi gerekebilir.

2.3.4 Yetişkin Dönem (Adult Dönem)

Adolesan dönemden sonra başlayıp yaşamın sonuna kadar süren dönemdir. Bu dönemde büyüme durmuştur. Dental düzeltim sağlamak için ortodontik tedavilerin yapılabildiği bu dönemde dentoiskeletsel bir düzeltim sağlamak mümkün değildir. İskeletsel anomalilerin tedavisi için ortognatik cerrahi bu dönemde yapılabilir(23).

2.4. Büyüme Gelişim Döneminin Belirlenmesi

Ortodontik tedavilerin planlanması ve tedavi sonrası oklüzal stabilitenin devam ettirilmesi için bireyin büyüme ve gelişim dönemlerinin belirlenmesi çok önemlidir. Büyüme gelişim döneminin belirlenmesinde morfolojik, histolojik, biyokimyasal ve radyolojik yöntemlerden faydalanılır(30, 31).

2.4.1. Morfolojik Yöntemler

Büyüme gelişim döneminin belirlenmesinde morfolojik olarak; kronolojik yaş, boy ve kilo artışı, ikincil cinsiyet karakterlerinin gelişimi dikkate alınarak değerlendirme yapılabilir(32-34).

2.4.1.1. Kronolojik Yaş

Takvim yaşı olarak tanımlanan kronolojik yaş; bireyin kronolojik yaşının ölçüleceği tarih ile doğum tarihi arasındaki fark hesaplanarak elde edilir. Ancak birçok çalışmada kronolojik yaşın, büyüme gelişim dönemini belirlemek için kullanıldığında güvenilir sonuçlar vermediği bildirilmiştir(1, 7, 10, 35, 36). Bireyler arasındaki genetik ve çevresel faktörlerin farklılığı, kronolojik yaşın iskelet yaşının ilerisinde veya gerisinde olmasına sebep olabilir.

2.4.1.2. Boy Uzaması ve Ağırlık Artışı

Her iki cinsiyette de boy artışı ve iskelet maturasyonu arasında önemli bir ilişki mevcuttur(35, 37). Ayrıca boy artışı ve fasiyal büyüme arasında pozitif korelasyon olduğu birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir(32, 38). Hunter, fasiyal büyüme hızının tepe noktasına, boy uzamasının en fazla olduğu dönemden sonra ulaşıldığını ve maksimum fasiyal büyümenin % 57'sinin vücuttaki maksimum büyümeyle aynı dönemde gerçekleştiğini bildirmiştir(32). Yeterli klinik kayıtlar tutulmuş olsa bile özellikle kız bireylerde büyüme hızındaki artış fark edilemeyecek kadar küçük olduğundan pubertal atılım dönemini tespit etmek zor olabilir. Ayrıca bu değişimler genetik, çevresel, cinsiyet ve ırk gibi faktörlere bağlı olduğundan boy uzaması tek başına büyüme gelişim dönemini belirlemek için kullanılamaz. Boy uzamasının en fazla olduğu dönemin tespit edilmesi, büyüme döneminin belirlenmesinde diğer yöntemlere yardımcı olarak kullanılabilir.(36)

2.4.1.3. İkincil Cinsiyet Özellikleri

Bireylerin büyüme sürecinde cinsiyete bağlı farklılıklar görülür. Adolesan dönemde erkeklerde; sesin kalınlaşması, kadınlarda; göğüslerin belirginleşmesi ve menarş görülür. Ayrıca bu dönemde her iki cinsiyette de koltuk altı ve kasık bölgelerinde kıllanmada artış oluşur(28).

Menarş yaşı kolaylıkla hatırlanabildiği için kız bireylerde fizyolojik olgunluk değerlendirilirken kullanılabilir. Pubertal atılım dönemindeki boy artışı ile menarş başlangıcı arasındaki ilişkinin değerlendirildiği bir çalışmada; boydaki büyüme

artışının menarşdan bir yıl sonra durduğu bildirilmiştir(39). Bu sebeple kız bireylerde büyüme gelişim dönemi belirteci olarak menarş yaşı kullanılabilir. Fakat menarş yaşı genetik, çevresel faktörler ve sosyoekonomik koşullardan etkilenmektedir(40). Ortalama menarş yaşı, ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Son yıllarda değişen yaşam koşullarına bağlı olarak menarş yaşının düştüğü bildirilmiştir(40, 41).

İkincil cinsiyet özellikleri ve menarş yaşı, fizyolojik olgunluğu belirlemede yardımcı bir kriter olarak kullanılabilir. Fakat hem kısıtlı bir dönem hakkında bilgi vermesi hem de çeşitli faktörlerin etkisi altında olması nedeniyle tek başına büyüme gelişim dönemini belirlemek için yeterli değildir.

2.4.2. Histolojik Yöntemler

Yaş; cinsiyet, saç, göz rengi, dişler gibi bireyin tıbbi kimliğini oluşturan bir etken olduğundan histolojik yöntemlerle yaş tespiti yapılabilmesinin adli tıpta önemi büyüktür. Özellikle postmortem durumlarda kemik ve kas dokularından histolojik yöntemlerle yaş tespiti yapılabilir. Hatta ülkemizin kırsal kesimlerinde doğum ve nüfus kayıtlarının yetersizliği nedeniyle, cezai ehliyet, memuriyete başlama, evlenme gibi durumlar için de yaş tespitine gerek duyulmaktadır(42). Histolojik yöntemlerle yaş tespitinde kemik ve kas dokusu, DNA replikasyonu ve dişlerden yararlanılabilir.

Kemik, kas fiber tipleri ve miyozin ağır zincirine ek olarak, karın epidermisi örneklerinden elde edilen AgNOR (agyrophilic nucleolar organiser region) boyama yöntemi ile hücre profillerayonuna bakılarak da yaş tespiti yapılabilir(43, 44).

Ökaryotik kromozomların uçlarında yer alan telomerlerde, DNA replikasyonundaki doğal sınırlamalar nedeniyle hücre bölünmesi sırasında kısalma gözlenir. Yapılan bir çalışmada telomerlerde yaşlanmayla beraber oluşan kısalmanın bireysel yaşı belirlemek için kullanılabileceği düşüncesiyle bir formül oluşturulmuştur(45).

Dişlerden yaş tespiti hem çocuklarda hem de erişkinlerde yapılabilir. Çocuklarda diş yaşı, daimi ve süt dişlerinin gelişim aşamaları ve sürme zamanlarının değerlendirilmesi ile elde edilirken, erişkin bireylerde ise daimi dişlerde meydana gelen histolojik-biyokimyasal ve morfolojik değişiklikler ile tespit edilebilir(46). Histolojik olarak mineden yaş tespiti için minedeki C^{14} (karbon-14) izotopunun konsantrasyonuna bakılabilir. C^{14} minenin oluşum döneminde yapısına katılır ve minede turnover olmadığı için konsantrasyonu sabit kalır. Minedeki C^{14}

konsantrasyonu ile farklı yıllarda atmosferdeki bilinen C¹⁴ konsantrasyonu karşılaştırılarak minenin oluştuğu yıl tespit edilebilir(47).

Klinikte kullanımının pratik olmaması ve genellikle postmortem dönemde uygulanabilirliğinin olması, histolojik olarak yaş tespiti yapılmasının kullanımını kısıtlamaktadır.

2.4.3. Biyokimyasal Yöntemler

Diş eti oluşu sıvısı, tükürük ve serumda biyokimyasal yöntemlerle büyüme gelişim dönemi tespiti yapmak mümkündür. İnsülin benzeri büyüme faktörü (IGF), dehidroepiandrosteron sülfat (DHEAS), alkalın fostataz (ALP), kreatinin, osteokalsin (OC) ve büyüme hormonu (GH) gibi büyüme gelişim ile vücuttaki konsantrasyonu değişim gösteren biyolojik belirteçler büyüme gelişim dönemi hakkında fikir verebilir(48-51).

Yapılan bir çalışmada kandaki IGF-I seviyesi ile servikal vertebra maturasyon dönemi arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve anlamlı sonuçlar elde edilmiştir(50). Yapılan başka bir çalışmada ise diş oluşu sıvısındaki ALP seviyesi ile servikal vertebra maturasyon dönemi arasındaki ilişki incelenmiş ve pubertal dönemde (CVM 3, CVM 4) ALP düzeyinin iki kat arttığı rapor edilmiştir(49). Serumdaki DHEAS düzeyini el bilek radyografileri ile kıyaslayarak yapılan başka bir çalışmada ise yaşla beraber DHEAS seviyesinin anlamlı derecede artış gösterdiği tespit edilmiştir(51). Helfman ve Bada ise diş minesinde yaşla birlikte artan aspartik asit rasemizasyonunun yaşayan memelilerde yaş tespiti için kullanılabilecek biyokronolojik bir belirteç olduğunu bildirmişlerdir(52).

2.4.4. Radyolojik Yöntemler

Büyüme ve gelişim dönemini belirlerken, radyolojik yöntemler ile iskelet yaşı, diş yaşı ve iskelet maturasyon dönemi tespiti yapılabilmektedir. Radyolojik incelemelerde seçilen yönteme bağlı olarak ossifikasyon, epifizyal değişimler, şekil ve boyut değişimleri, dişlerin sürme zamanları ve gelişim dönemleri dikkate alınarak değerlendirme yapılır. Bu nedenle iskelet yaşı ve maturasyon dönemi tespiti yapılırken kemik gelişim süreçlerinin iyi bilinmesi ve titiz bir şekilde değerlendirilmesi gerekir.

Kemik oluşumu mezenkim içerisinde oluşan hücre yoğunlaşması ve sert doku birikimiyle prenatal dönemde başlar. Skleroblastem adı verilen yumuşak doku içerisinde görülen bu yoğunlaşma sahaları kemik dokusunun ilk oluştuğu yerdir.

Skleroblastemden, endokondral (indirekt) ve intramembranöz (direkt) kemikleşme olmak üzere iki farklı yoldan kemikleşme meydana gelir(20, 53).

Endrokondral kemikleşmede öncelikle kıkırdak taslak oluşur, sonrasında kıkırdak kemiğe dönüşür. Kıkırdak bir taslak aracılığı ile kemik olduğu için endokondral kemikleşme, indirekt kemikleşme olarak da adlandırılır. El, ayak, kol, bacak gibi uzun ve kısa kemikler endrokondral yolla kemikleşir(20, 54).

İntramembranöz kemikleşmede ise kemik dokusu direkt olarak mezenkim hücrelerinden meydana gelir. Maksilla, mandibula, temporal kemik, frontal kemik, oksipital kemik ve yassı kemikler intramembranöz yolla kemikleşir(20).

Doğumdan erişkinliğe kadar olan dönemde, epifizler öngürebilir bir sırayı takip ederek kemikleşir ve iskeletsel olgunluğa erişildiğinde kemiğin ana gövdesi ile birleşerek kıkırdak dokusu ortadan kalkar. Radyolojik yöntemlerle iskelet maturasyonu tespitinin temelini, epifizlerin kemikleşme derecelerinin belirlenmesi oluşturur. Bu amaçla el-bilek, dirsek, kalça, ayak ve ayak bileği gibi epifiz içeren bölgelerden alınan radyografiler iskelet maturasyonu tayininde kullanılabilir(55). İskelet maturasyonu tespiti için epifizyal değişimlerin incelenmesi dışında panoramik ve sefalometrik radyografilerden de çeşitli yöntemlerle maturasyon tespiti yapılabilir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere vücudun farklı bölgelerinden alınan radyografilerle iskelet maturasyon tespiti yapılabilir. Ancak ALARA (As Low As Reasonably Achievable) prensipleri gereği şu kriterlere dikkat edilmelidir:

1. En az sayıda radyografi alınarak amaca ulaşılabilmesi,
2. Doğumdan erişkin döneme kadar birbirini takip eden bir sırayla kemikleşen kalsifiye yapıların bulunduğu bir bölge olması,
3. Radyografideki görüntülerin gerçek boyutlarına yakın olması ve görüntülerin birbiri üzerine gelmeden rahatlıkla görülebilmesi,
4. Radyografi çekilmesi için gereken zamanın kısa olması(56).

Bu kriterler dikkate alındığında büyüme gelişim dönemi tespiti için sıklıkla tercih edilen yöntemler panoramik radyografi, lateral sefalometrik radyografi ve el-bilek radyografisi olarak sınıflandırılabilir.

2.4.4.1. El- Bilek Radyografileri

19. yüzyıl sonlarında Roentgen'in X ışınlarını keşfetmesinden 4 ay sonra Sydney Rowland, Londra'da kayıtlara geçen ilk el-bilek radyografisini

yayınlanmıştır(22). Roland 1986'da, iskelet maturasyonunu tespit etmek için büyüyen kemiklerin şekil ve boyutlarını radyografik görüntüler üzerinden karşılaştırma fikrini ortaya atmıştır(57). 1907'de J.W. Pryor el-bilek radyografilerini inceleyerek iskeletsel gelişimi değerlendirmiş, kızların erkeklerden daha önce geliştiğini ve bazı olgularda kemikleşme sırasının atipik olduğunu bildirmiştir(58).

El-bilek radyografileri aracılığı ile büyüme gelişim değerlendirilmesinde; el-bilek atlasları yardımıyla iskelet yaşının belirlenmesi veya el-bilek kemiklerindeki kalsifikasyon süreçleri ve epifizyal değişimleri inceleyerek maturasyon dönem tespiti yapılmaktadır.

El-bilek kemiklerinin kemikleşmesini içeren ilk atlas 1937 yılında Siegert tarafından yayınlanmıştır(8). Ardından Todd'un (1937) başlattığı, Greulich ve Pyle tarafından devam ettirilen çalışmanın sonucunda günümüzde yaygın olarak kullanılan Greulich-Pyle atlası 1950'de yayınlanmıştır(22). Sonrasında Schmid ve Moll (1960), Björk ve ark. (1966), Kopczyńska Sikorska (1969), Tanner ve ark. (1975), de Roo ve Schröder (1976) gibi pek çok araştırmacı çeşitli el-bilek atlasları yayınlamışlardır(8). Yayımlanan pek çok atlas olmasına rağmen yaygın olarak, Greulich ve Pyle ile Tanner ve ark. oluşturduğu atlaslar kullanılmaktadır(59, 60).

El-bilek kemiklerindeki kalsifikasyon süreçleri ve epifizyal değişimlerden yararlanarak maturasyon dönemi tespit ederken ise el-bilek kemiklerinin kalsifikasyon ve gelişim süreçleri iyi bilinmelidir. Howard yaptığı bir çalışmada, 5-16 yaşları arasındaki kız ve erkek çocuklarda kemik merkezlerinde oluşan fizyolojik değişimleri rapor etmiştir(61). Başka bir çalışmada, el-bilek bölgesindeki epifizyal kartilajın ossifikasyon süreci gözlemlenmiştir(62). Flory ise 1936'da yayınladığı çalışmasında addüktör sesamoid kalsifikasyonunun pubertal atılımı belirlemede önemli bir belirteç olduğunu bildirmiştir(63).

Bu çalışmalardan yola çıkarak el-bilek kemiklerindeki kalsifikasyon süreçleri ve epifizyal değişimlerin incelenmesiyle Chapman (1972), Hagg ve Taranger (1980), Fishman (1982) ve Mendes ve ark. (2010) gibi pek çok araştırmacı tarafından çeşitli sınıflamalar oluşturulmuştur(64-67).

20. yüzyılın başından itibaren yapılan çalışmalarda büyüme gelişim dönem tespiti ve iskelet yaşı için sol el-bilek bölgesinden alınan radyografiler kullanılmıştır. İki elden radyografi almak yerine tek elden radyografi almak zaman, maliyet ve

radasyon dozunu azaltmaktadır. Bununla beraber toplumların büyük bir kısmında sağ el kullanma prevalansı daha yüksek olduğundan, sol elin kaza ve yaralanmalardan etkilenme insidansı daha düşüktür. Ayrıca 1906'da Monako'da ve 1912'de Cenevre'de düzenlenen Fiziksel Antropologlar Kongreleri sırasında hazırlanan 'Canlılar Üzerinde Yapılacak Antropometrik Ölçümlerin Birleştirilmesine İlişkin Uluslararası Anlaşma' da', canlılar üzerindeki değerlendirmelerin sol tarafta yapılması kararı alındı. Daha önceki çalışmalarda da vücudün sağ ve sol tarafı arasındaki farklılıkların, iskelet maturasyon dönemi tespitinde hataya yol açmayacak kadar küçük olduğu tespit edilmiştir(60).

Büyüme gelişim dönemi tespiti için el-bilek radyografisi kullanmanın avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- El-bilek bölgesi küçük ve radyolojik olarak incelemeye uygun bir bölgedir.
- El-bilek bölgesinde çok sayıda kemik öngörülebilir bir sırada ve geniş bir zaman aralığında kalsifiye olur. Bu durum hekime büyüme gelişimi evrelendirerek takip şansı sağlar.
- Tek bir radyografi ile istenilen bölgenin tamamı görüntülenebilir, bu durum zaman ve maliyet açısından avantaj sağlar.
- Son yıllarda geliştirilen bir methodla kafatası ve el-bilek bölgesi aynı radyografi üzerinde görüntülenebilir.
- Radyografilerdeki kemik görüntüsünün gerçek kemik boyutlarına yakın olması ve süperpozisyonların az olması sayesinde net bir görüntü elde edilebilir(27).

Büyüme gelişim dönemi tespiti için el-bilek radyografisi kullanmanın dezavantajları ise şu şekildedir:

- Ek bir radyografi gerektirdiği için ekstra radyasyon, zaman ve maliyet kaybına neden olur.
- Farklı iskelet bölgelerindeki büyüme ve gelişim, farklı seyirde ilerleyebilir.
- El-bilek bölgesinin fasiyal bölgeden uzak olması ve iskelet sisteminin küçük bir parçası olması nedeniyle büyüme gelişim dönemini her zaman ideal bir şekilde temsil edemeyebilir.
- El-bilek iskelet yaşı kronolojik yaş gibi tam olarak hesaplanamaz. Klinik örneklerde yaklaşık 6 ay hata payı görülebilir(68).

2.4.4.1.1. El-Bilek Atlasları ile İskelet Yaşının Belirlenmesi

2.4.4.1.1.1. Greulich ve Pyle (GP) Atlası

Todd'un 1937 yılında 'Atlas of Skeletal Maturation of the Hand' isimli atlasında farklı yaşlardaki çocukların sol omuz, dirsek, el, kalça ve dizlerinden radyografiler alınmış, doğumdan sonraki ilk yıl her üç ayda bir, 1-5 yaş arasında ise her altı ayda bir ve sonrasında yılda bir kez radyografi alınarak uzun süreli bir büyüme gelişim arşivi oluşturulmuştur(69). Günümüzde yaygın olarak kullanılan GP atlası, Todd'un başlatmış olduğu çalışmayı, ölümü sonrasında GP'in devam ettirmesiyle 1950 yılında yayınlanmıştır(22).

Greulich ve Pyle tarafından geliştirilen bu yöntem, el-bilek radyografilerinin GP atlasındaki en benzer örneği bulup eşleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Atlasta yer alan radyografiler; 1931 ile 1942 yılları arasında, Amerikalı, beyaz, üst-orta sınıflı erkek ve kız çocuklardan elde edilmiştir. Atlas, erkek ve kız bireyler için iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Her bölüm, bireylerin sol el radyografilerinin kronolojik yaşa göre sıralanması ile oluşturulmuştur. Erkek bireyler için olan bölümde 0-19 yaş arası erkeklerden elde edilmiş 31 adet radyografik görüntü yer alırken, kız bireyler için olan bölümde 0-18 yaş arası bireylerden elde edilmiş 27 adet radyografik görüntü bulunmaktadır(60, 69). Atlastaki her bir radyografi ait olduğu kronolojik yaş grubundaki bireylerden elde edilmiş 100 radyografinin ortalamasıdır(70). Atlasın kız ve erkek olarak iki ayrı bölümden oluşmasının nedeni; kemik büyüme ve gelişiminin cinsiyete göre farklılık göstermesidir. GP atlasına göre iskelet yaşı belirlenirken ilk adım cinsiyete göre uygun olan bölümün seçilmesidir. Daha sonra değerlendirilen vakanın radyografisi, öncelikle atlasta kronolojik yaşına en uygun radyografi ile karşılaştırılır. Sonrasında, hem daha küçük hem de daha büyük bireyleri temsil eden ardışık radyografilerle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma, iskelet yaşı değerlendirilecek olan bireyin radyografisine en yakın radyografi bulunana kadar devam eder. Hekim en benzer radyografiyi belirlerken epifizlerin şekli, epifiz-metafiz füzyon miktarı, ossifikasyon merkezlerinin varlığı/yokluğu gibi kriterlere dikkat etmelidir. Radyografiler arasında %100 eşleşme sağlanamayabilir, bu durumda en benzer radyografi kronolojik yaşı değerlendirilen olgunun iskelet yaşı olarak kabul edilir(60, 69).

GP atlasının yaygın kullanımına rağmen bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan ilki; atlastaki radyografik görüntülerin arasında çoğunlukla bir yıl bulunmasıdır. Bu durum bir yıl içinde gerçekleşen iskeletsel değişimlerin gözardı edilmesine neden olur. İkinci dezavantaj ise; atlasın sağlıklı olan bütün çocuklarda iskeletsel gelişimin aynı olduğunu, kemiklerin hepsinin aynı kemik yaşında olduğunu ve kemik gelişiminin sabit bir patern izlediğini kabul etmesidir. Halbuki sağlıklı çocuklarda da kemik gelişiminde varyasyonlar olabilir(71). Ayrıca atlasın Amerikalı çocuklardan elde edilen verilerle hazırlanmış olması, diğer ülkelerde ırksal farklılıklar sebebiyle farklı sonuçlar verebilir. Bu sebeple GP atlasının Türk çocuklarda kullanılmasının güvenilirliğini araştıran pek çok çalışma yapılmıştır(72-74).

2.4.4.1.1.2. Tanner-Whitehouse Atlası

Tanner-Whitehouse (TW) atlası 1962 yılında Tanner ve ark. tarafından oluşturulmuştur. Atlasta 1945-1958 yılları arasında İngiliz toplumunun orta sosyo-ekonomik düzeydeki bireylerinden alınan radyografik görüntüler standardize edilmiştir. TW atlası ilk olarak 1975 yılında TW-2 metodu olarak revize edilmiştir. Bu revizyonda radius, ulna ve bazı karpal kemikler değerlendirmeyi zorlaştırdığı için sistemden çıkarılmıştır. Ayrıca her kemik için cinsiyete bağlı olarak kemiklerin derecelendirmesi değiştirilmiştir(75).

TW-2 metodunda 20 kemik değerlendirilir. Bu kemikler; radius, ulna, 1., 3. ve 5. parmak kemiklerinin proksimal ve distal falanksları, 1., 3. ve 5. metakarpal kemikler, 3. ve 5. parmak kemiklerinin orta falanksları ve karpal kemiklerdir(69). Bu kemiklerin her biri A'dan, H veya I'ya kadar derecelendirilir. A, kalsifikasyonun henüz başlamadığının göstergesi iken, H veya I, kalsifikasyonun tamamlandığını gösterir. Her derecenin bir puan değeri vardır. Her kemik için derecelendirmesine göre belirlenmiş olan puan değerleri toplanır ve cinsiyete bağlı olarak hazırlanan tablolardan, elde edilen toplam puanın karşılık geldiği sayı bulunur. Bu değer bireyin iskelet yaşını verir(60, 69).

Atlas 2001 yılında tekrar revize edilmiş ve TW3 metodu olarak günümüzdeki son halini almıştır. TW3 metodunda TW2 metodundan farklı olarak; radius, ulna ve kısa kemikleri iskelet yaşına dönüştürmede kullanılan tablolar modifiye edilmiştir. Ayrıca TW3 metodunda referans değerleri; Belçika, İtalya, İspanyol, Arjantin ve

Japonya gibi çeşitli ülkelerden elde edilerek, tek ırk üzerinde çalışmanın yarattığı dezavantaj ortadan kaldırılmıştır(75).

2.4.4.1.2. El-Bilek Kemiklerindeki Kalsifikasyon Süreçleri ve Epifizyal Değişimlere Göre Oluşturulan Sınıflamalar

2.4.4.1.2.1. Grave ve Brown Yöntemi

Grave ve Brown(76) maturasyon dönemini tespitini; tek kemiklerdeki ossifikasyon ve epifizyal değişimler olmak üzere 2 kategori altında değerlendirmiştir.

1. Kategoride; sırasıyla hamatum çengeli, pisiform kemiği ve sesamoid ossifikasyonları yer alırken, 2. kategoride; 1., 2., 3. parmaklar ve radiustaki epifizyal değişimler bulunmaktadır. Grave ve Brown, maturasyon aşamalarını aşağıdaki şekilde sıralandırmıştır:

- 1- PP2 = Safhası:** 2. Parmağın proksimal falanksında, epifiz ve diafiz genişliği birbirine eşittir. Pubertal atılım henüz başlamamıştır.
- 2- MP3 = Safhası:** 3. Parmağın medial falanksında epifiz ve diafiz genişliği birbirine eşittir. Pubertal atılım henüz başlamamıştır. Birey çocukluk (juvenil) dönemindedir.
- 3- H-1 Safhası:** Hamatum çengeli radyografide görülmeye başlar.
- 4- Pisi Safhası:** Pisiform kemiği radyografide görülmeye başlar. Bu kemik; bilek kemikleri içerisinde en geç kalsifikasyona uğrayan kemiktir.
- 5- R= Safhası:** Radiusun epifiz ve diafiz genişliği birbirine eşittir.
- 6- S Safhası:** Sesamoidin görülmeye başladığı evredir.
- 7- H-2 Safhası:** Hamatum çengelinin belirginleştiği evredir.
- 8- MP3 cap Safhası:** 3. Parmağın orta falanksının epifizinin diafizini kapattığı evredir.
- 9- PP1 cap Safhası:** 1. Parmağın proksimal falanksında epifizin diafizi kapattığı evredir.
- 10- R cap Safhası:** Radiusta epifizin diafizi kapattığı evredir.
- 11- DP3 u Safhası:** 3. Parmağın distal falanksında epifiz ile diafizin kaynaştığı evredir.
- 12- PP3 u Safhası:** 3. Parmağın proksimal falanksında epifiz ile diafizin kaynaştığı evredir.

13- MP3 u Safhası: 3. Parmağın orta falanksında epifiz ile diafizin kaynaştığı evredir.

14- Ru Safhası: Radiusta epifiz ile diafizin kaynaştığı evredir.

Grave ve Brown'un yukarıda sıralanmış olan maturasyon aşamalarına göre;

- Pisi, H-1, R= safhasında olan bireylerde pubertal atılım başlamıştır ve birey adolesan döneme yeni geçiş yapmıştır.

- S, H2 safhasında olan bireylerde pubertal atılım tepe noktasına yaklaşmıştır.

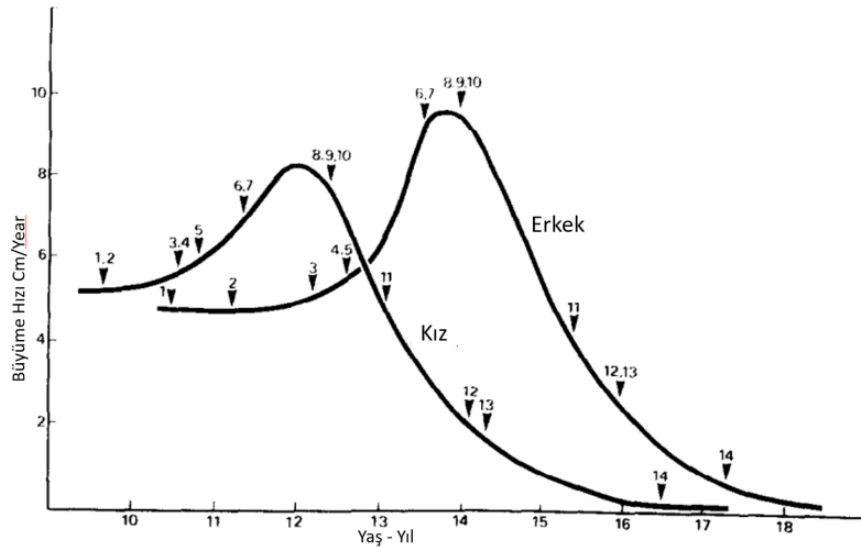
- MP3 cap, PP1 cap, R cap safhasında olan bireyler ise pubertal atılımın tepe noktasındadırlar.

- DP3 u safhasında olan bireylerde büyüme gelişim eğrisinde tepe noktası aşılmış ve büyüme yavaşlamıştır.

- PP3 safhasıyla beraber büyüme atılımı sona ermeye başlamıştır.

- Ru safhasında ise birey artık yetişkin döneme girmek üzeredir.

Grave ve Brown ossifikasyon ve epifizyal değişiklikleri değerlendirerek oluşturduğu maturasyon aşamalarının büyüme hızı ile olan ilişkisini Şekil 1'deki grafikte göstermiştir.

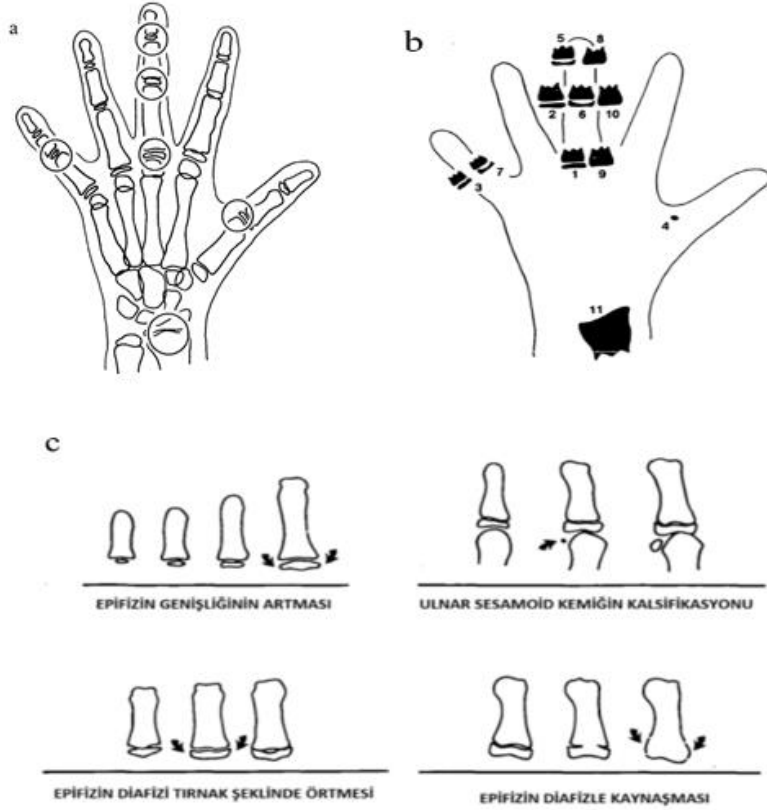


Şekil 1. Maturasyon aşamalarının büyüme hızı ile ilişkilendirilmesi (numaralandırma yukarıdaki sınıflamaya göre yapılmıştır)(76)

2.4.4.1.2.2. Fishman Yöntemi

Fishman iskelet maturasyonunun değerlendirilmesi için; 1., 3., 5., parmak ve radiusta bulunan 6 anatomik bölgedeyi esas alarak, 11 aşamalı "iskelet maturasyon

göstergeleri (Skeletal Maturity Indicators-SMI) olarak isimlendirdiği bir sistem geliştirmiştir(66, 77) (Şekil 2). Değerlendirilen 6 anatomik bölgede sırasıyla; epifizyal genişleme, addüktör sesamoid kemiğin kalsifikasyonu, epifizlerin diafizleri sarması (capping) ve epifiz ile diafizlerin kaynaşması (union) gerçekleşir.



Şekil 2. Fishman'ın iskelet maturasyon göstergeleri (a: İskelet maturasyonunun değerlendirildiği alanlar, b: 11 iskelet maturasyon göstergesi (SMI), c: İskelet maturasyon göstergelerinin radyografik tanımlamaları)(66)

Fishmanın 11 aşamalı iskelet maturasyon göstergeleri (SMI) sırasıyla şu şekildedir;

1. Üçüncü parmağın proksimal falanksında epifiz ve diafiz birbirine eşittir.
2. Üçüncü parmağın orta falanksında epifiz ve diafiz birbirine eşittir.
3. Beşinci parmağın orta falanksında epifiz ve diafiz birbirine eşittir.
4. Addüktör sesamoid kalsifikasyonu başlamıştır.
5. Üçüncü parmağın distal falanksında epifiz diafizi sarar.
6. Üçüncü parmağın orta falanksında epifiz diafizi sarar.
7. Beşinci parmağın orta falanksında epifiz diafizi sarar.
8. Üçüncü parmağın distal falanksında epifiz ile diafiz kaynaşır.

9. Üçüncü parmağın proksimal falanksında epifiz ile diafiz kaynaşır.
10. Üçüncü parmağın orta falanksında epifiz ile diafiz kaynaşır.
11. Radiusta epifiz ile diafiz kaynaşır.

Bu yöntemle maturasyon dönemini belirlerken öncelikle addüktör sesamoid kemikte kalsifikasyon olup olmadığına bakılır. Addüktör sesamoid kemikte kalsifikasyon başlamamış ise üçüncü parmağın proksimal ve orta falanksı ile beşinci parmağın orta falanksındaki epifiz-diafiz ilişkileri incelenir, eğer addüktör sesamoidde kalsifikasyon başlamış ise üçüncü parmağın distal falanksında epifiz ile diafizin kaynaşma durumu kontrol edilir. Kaynaşma yoksa üçüncü parmağın distal ve orta epifiz diafizi ile beşinci parmağın orta epifizlerinin diafizlerini örtme durumu kontrol edilir. Eğer kaynaşma varsa üçüncü parmağın proksimal ve orta epifiz diafizleri ile radiusun epifiz ve diafizlerinin kaynaşma durumu incelenir.(66).

Ayrıca Fishman yapmış olduğu bu çalışmada, 11 iskelet maturasyon göstergesinin (SMI) görülme yaşlarını kız ve erkeklerde ortalama olarak hesaplamıştır (Tablo 1)(66).

Tablo 1. Fishman'ın 'SMI' kriterlerinin ortalama görülme yaşları(66)

SMI	KADIN		ERKEK	
	Ortalama Değer	Standart Sapma	Ortalama Değer	Standart Sapma
1	9,94	0,96	11,01	1,22
2	10,58	0,88	11,68	1,06
3	10,88	0,99	12,12	1,00
4	11,22	1,11	12,33	1,09
5	11,64	0,90	12,98	1,12
6	12,06	0,96	13,75	1,06
7	12,34	0,90	14,38	1,08
8	13,10	0,87	15,11	1,03
9	13,90	0,99	15,50	1,07
10	14,07	0,96	16,40	1,00
11	16,07	1,25	17,37	1,26

Fishman'ın çalışmasında bireyler SMI kriterlerine göre 3 gruba ayrılmıştır(77);

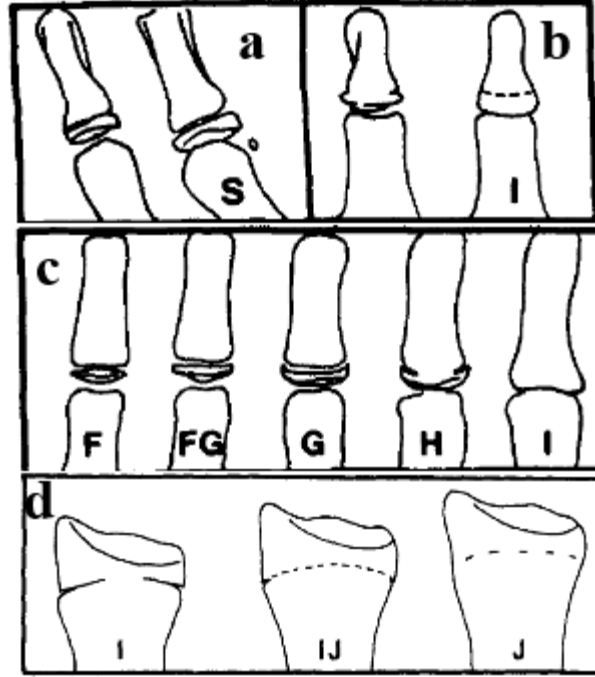
Evre 1: SMI 1-3. aşamalarını içerir ve büyümenin hızlandığı periyodu belirtir.

Evre 2: SMI 4-7. aşamalarını içerir ve çok yüksek büyüme hızına ulaşıldığını belirtir.

Evre 3: SMI 8-11. aşamalarını içerir ve büyüme hızının azaldığını belirtir.

2.4.4.1.2.3. Hagg ve Taranger Yöntemi

Hagg ve Taranger(65) büyüme çağındaki 212 birey üzerinde yaptığı çalışmada; bireylerin iskeletsel gelişimini el-bilek radyografileri ile değerlendirmişler ve elde ettikleri sonuçlar neticesinde 4 farklı bölgede (sesamoid, 3. parmağın orta falanksı, 3. parmağın distal falanksı, radiusun epifiz-diafiz bölgesi) sınıflandırmalar oluşturmuşlardır (Şekil 3).



Şekil 3. Hagg ve Tarangerin el bilek radyografisinde incelediği alanlar ve aşamaları (a: sesamoid kemik kalsifikasyonu, b: 3. Parmağın distal falanksı (DP3) maturasyon aşamaları, c: 3. Parmağın orta falanksı (MP3) maturasyon aşamaları, d: radius distal epifizindeki maturasyon aşamaları)(65)

Hagg ve Taranger'in oluşturduğu sınıflama şu şekildedir:

1. **Sesamoid (S):** Hagg ve Taranger sesamoid kemiğin genellikle pubertal atılım dönemiyle beraber görüldüğünü bildirmişlerdir.
 - Sesamoid kemik kalsifiye olmamıştır.
 - Sesamoid kemik kalsifiye olmuştur.
2. **3. Parmağın orta falanksı (MP3)**
 - **MP3-F:** Epifiz ve diafiz genişliği birbirine eşittir. Pubertal büyüme henüz başlangıç aşamasındadır.
 - **MP3-FG:** Epifiz ve diafiz genişlikleri birbirine eşittir ve epifizin medial ve/veya lateral kenarında çıkıntılar oluşmaya başlar.

- **MP3-G:** Epifizin kenarları kalınlaşmıştır ve diafizi sarmaya başlamıştır. Pubertal atılım tepe noktasındadır.
- **MP3-H:** Epifiz ve diafiz arasında kaynaşma başlamıştır. Pubertal büyüme hızı giderek azalmaya başlamıştır.
- **MP3-I:** Epifiz ve diafiz kaynaşması tamamlanmıştır. Pubertal büyüme neredeyse tamamlanmıştır.

3. 3. Parmağın distal falanksı (DP3)

- Epifiz ve diafiz kaynaşması tamamlanmamıştır
- **DP3-I:** Epifiz ve diafiz kaynaşması tamamlanmıştır. Pubertal büyüme atılımının yavaşladığı dönemde görülür.

4. Radius (R)

- **R-I:** Epifiz ve diafiz kaynaşmaya başlamıştır.
- **R-II:** Epifiz ve diafiz arasında kaynaşma neredeyse tamamlanmıştır. Bir veya iki kenarda küçük boşluklar mevcuttur.
- **R-J:** Epifiz ve diafiz arasında kaynaşma tamamlanmıştır.

2.4.4.1.2.4. Chapman Yöntemi

Chapman(64), adolesan bireylerde boy uzaması ve addüktör sesamoid kalsifikasyonu arasındaki ilişkiyi incelemiş ve bir sınıflandırma oluşturmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Addüktör sesamoid kalsifikasyon aşamaları [Kız:(a:AS0, b:AS1, c:AS2, d:AS3), Erkek: (e: AS1, f:AS2, g:AS3)](64)

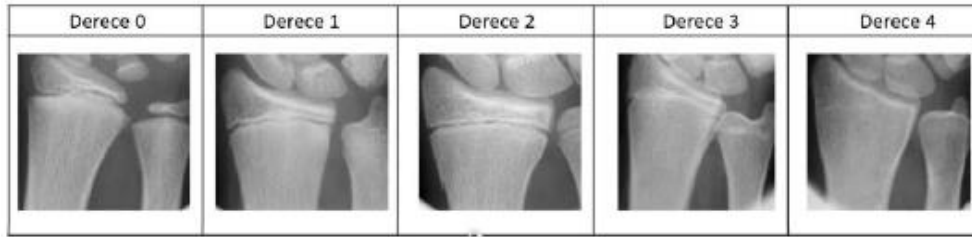
Addüktör sesamoid kalsifikasyon aşamaları:

1. **AS0:** Sesamoid kemik henüz kalsifiye olmamıştır.

2. **AS1:** Radyografik olarak sesamoid kemiğin ilk görüldüğü aşamadır. Görüntüsü iğne başı şeklinde olup yaklaşık 1mm çapındadır.
3. **AS2:** Bu aşamada sesamoid kalsifikasyonu 1. aşamaya göre artmıştır, fakat sınırları belirsizdir.
4. **AS3:** Bu aşamada sesamoid; tohum şeklinde, sınırları belirgin ve olgun boyutunun yaklaşık %70'i kadar büyüklüğe ulaşmış durumdadır.

2.4.4.1.2.5. Mendes ve Arkadaşlarının Yöntemi

Ortodontik tedavi sonrası implant yapılması gereken vakalarda implantasyonun yapılabilmesi için büyüme gelişimin tamamlanması gerekir. Mendes ve ark.(67) yaptıkları çalışma ile el-bilek bölgesinden oklüzal radyografi alarak, radiustaki epifiz-diafiz ilişkisini incelemişler ve implantasyon için belirlenmesi gereken büyüme gelişim seviyesini pratik bir yöntem ile sınıflandırmışlardır (Şekil 5).



Şekil 5. Mendes ve ark. göre radiustaki epifiz-diafiz ilişkisi aşamaları

Mendes ve ark. oluşturduğu sınıflama şu şekildedir:

1. Derece 0: Radiustaki epifiz diafizden küçük ya da eşittir.
2. Derece 1: Radiustaki epifiz diafizden daha büyüktür.
3. Derece 2: Radiustaki epifiz, diafiz ile birleşmeye başlamıştır.
4. Derece 3: Radiustaki epifiz-diafiz birleşim bölgesinde hafif bir radyolusent çizgi vardır.
5. Derece 4: Radiustaki epifiz, diafiz kaynaşması tamamlanmıştır.

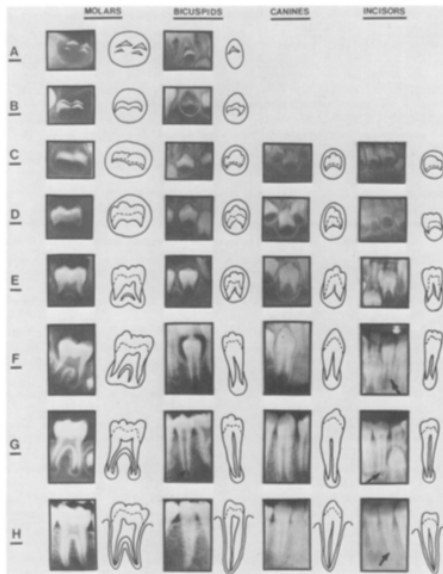
2.4.4.2. Panoramik Radyografiler

Panoramik radyografiler ile fasiyal bölgenin bir kısmı, maksilla, mandibula ve onları destekleyen yapıların tümü frontal düzlemde tek bir radyograf üzerinde görüntülenebilir(7). Panoramik radyografiler; çeneler ve çevre dokularda bulunan

lezyonların tespiti ve boyutlarının belirlenmesinde, süpernumere/konjenital diş tespitinde, temporamandibular eklem bölgesi ve mandibular morfolojiyi görüntülemeye, anormal sürme yolu gösteren dişlerde, travma sonrası kırık tespiti ve büyüme-gelişim değerlendirmesinde kullanılabilir(78).

Panaromik radyografilerin avantajları; radyasyon dozu ve çekim süresinin kısa olması, trismus hastalarında kullanılabilmesi, kooperasyon sağlanamayan bireylerde kullanılabilmesi, çene ve çevre dokuların genel anatomik görüntüsünü verebilmesi olarak sıralanabilir. Panaromik radyografilerin dezavantajları ise; ağız içi radyografilerine kıyasla keskinliğin daha az olması, distorsiyon, magnifikasyon ve maliyetinin fazla olmasıdır(78).

Demirjian ve ark.(79) 1973 yılında, Kanadalı Fransız popülasyonundan 1446 erkek ve 1482 kızın panaromik radyografileri üzerinden büyüme gelişim tespiti için bir sınıflama oluşturmuştur. Oluşturulan bu sınıflamada sol mandibular bölgedeki 7 dişte; minedeki mineralizasyon miktarı, dentin oluşması, pulpa odasının şeklindeki değişim, kök formasyonu, apeksin kapanma derecesi gibi kriterler değerlendirilmiştir. Sınıflamaya dahil edilen dişler, belirlenen kriterlere göre A'dan H'ye kadar 8 farklı döneme ayrılmıştır (Şekil 6). 7 dişin her dönemi için ayrı bir skor değeri vardır ve elde edilen toplam skor bireyin diş yaşını verir.



- A: Tek ve çok köklü dişlerde tüberkül tepeleri kalsifiye olmuş ancak henüz birleşmemiştir.
B: Kalsifiye olan tüberkül tepeleri birleşmiş ve oklüzal sınır belirginleşmiştir.
C: Oklüzal yüzeydeki mine formasyonu tamamlanmış, dentin depozisyonu başlamış, pulpa odası hatları belirginleşmeye başlamıştır.
D: Kron oluşumu mine sement sınırında tamamlanmıştır. Tek köklü dişlerin pulpa odası servikal bölgeye doğru konkavken, çok köklü dişlerin pulpa odası yamuk formundadır. Kök formasyonu görülmeye başlanmıştır.
E: Pulpa odası duvarları düzgün ve pulpa boynuzları belirgindir. Çok köklü dişlerde furkasyon bölgeleri oluşmuştur ve kök uzunluğu kron uzunluğundan azdır.
F: Apeksler huni şeklinde sonlanır. Kök uzunluğu kron uzunluğuna eşit yada daha uzundur.
G: Kök kanal duvarları birbirine paraleldir ve apeks kısmen açıktır.
H: Apeks tamamen kapanmıştır.

Şekil 6. Demirjian ve ark. diş gelişim dönemleri (79)

Demirjian yönteminin farklı toplumlardaki geçerliliğini test etmek için birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar yöntemin uygulandığı topluma göre diş yaşında varyasyonlar gösterdiğini, yöntemin kullanılabilirliğinin uygulanan popülasyona göre değiştiğini bildirmiştir(80, 81). Türk toplumundaki geçerliliğini tespit etmek için yapılan bir çalışmada; Türkiye'nin kuzeyinde yaşayan 4-12 yaş aralığındaki 900 çocukta, kronolojik yaş ve Demirjian metoduyla elde edilen diş yaşı karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre Türk popülasyonu diş yaşı açısından Demirjian örneklemindeki çocuklardan istatistiksel olarak anlamlı derece ileri bulunmuştur(82). Demirjian yönteminin, ülkelere ve uygulayan kişinin deneyimine göre farklılık göstermesi, sistemik hastalık, besleme yetersizliği gibi birçok lokal faktörden etkilenmesi yöntemin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır(7). Ayrıca diş yaşının kısıtlı bir yaş aralığında bakılabilmesi ve pubertal atılım dönemini belirlemede yetersiz olması nedeniyle ortodontik tedaviler için maturasyon dönemi tespitinde tercih edilmemektedir(7, 28, 36).

2.4.4.3. Lateral Sefalometrik Radyografiler

Lateral sefalometrik radyografiler ortodontik tedaviye başlamadan önce teşhis ve planlama için rutin olarak alınan ve servikal vertebraların rahatlıkla değerlendirilebildiği bir görüntüleme yöntemidir. Geleneksel olarak bireylerin büyüme gelişim dönemlerinin belirlenmesinde altın standart el-bilek radyografileriyle elde edilmiş olsa da büyüme gelişim dönemi servikal vertebra maturasyon aşamaları yardımıyla da belirlenebilir(9).

Lateral sefalometrik radyografiler aracılığı ile iskelet maturasyonun değerlendirilmesi için yapılan ilk çalışma 1972 yılında Lamparski tarafından yayınlanmıştır. Lamparski büyüme ve gelişim ile birlikte servikal vertebralarda meydana gelen değişikliklerden yola çıkarak bir sınıflama oluşturmuştur(83). Daha sonra Hassel ve Farman(57), Lamparski'nin sınıflamasını geliştirerek 6 aşamalı bir sınıflama oluşturmuştur. 2002 yılına gelindiğinde ise Baccetti ve ark(84) 2., 3. ve 4. servikal vertebralarda, servikal vertebra maturasyon aşamaları (Cervical Vertebrae Maturation Stage (CVMS)) olarak isimlendirdikleri 5 aşamalı yeni bir sınıflama yayınlamışlardır. 2005 yılında kendi sınıflamalarını modifiye ederek servikal vertebra maturasyon aşamalarını 6 aşamalı olarak revize etmişlerdir(2).

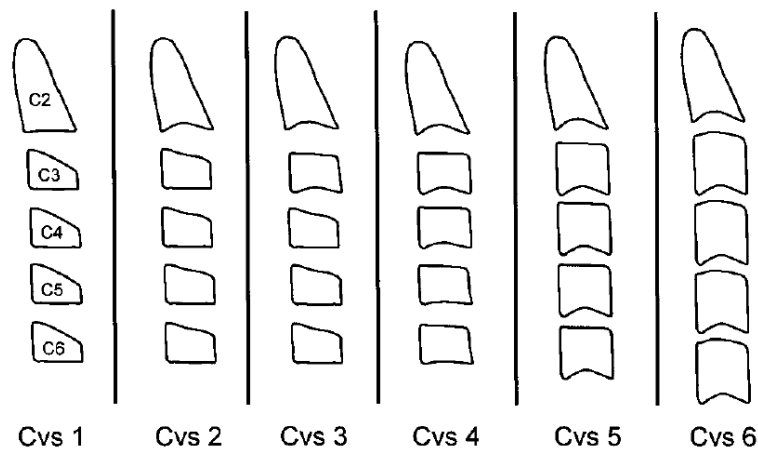
Lateral sefalometrik radyografilerde maturasyon dönemi tespitinin yanı sıra morfometrik ölçümler yaparak iskelet yaşı tespiti de yapılabilmektedir. Mito ve ark.(13) iskelet yaşını belirlemek için lateral sefalometrik radyografi üzerinde 3. ve 4. vertebralarda çeşitli ölçümler yaparak regresyon formülü geliştirmişlerdir.

Birçok çalışmada lateral sefalometrik radyografiler üzerinden servikal vertebra maturasyonu ile boy uzaması ve mandibular büyüme arasındaki ilişki incelenmiş, servikal vertebra maturasyonun 3. ve 4. aşamalarında boy uzaması ve mandibular büyümenin maksimum seviyeye ulaştığını bildirmişlerdir(84-86).

Yapılan çalışmaların sonucunda, servikal vertebraların lateral sefalometrik radyografi ile değerlendirilerek büyüme gelişim döneminin belirlenmesi, radyasyon maruziyetinin azaltılması için pratik bir yöntem olarak kabul edilmiş, tanı ve tedavi planlarının oluşturulması amacıyla kullanımı geniş bir kitle tarafından kabul görmüştür(2, 9, 18, 87).

2.4.4.3.1. Servikal Vertebralardan Yararlanılarak Maturasyon Döneminin Belirlendiği Yöntemler

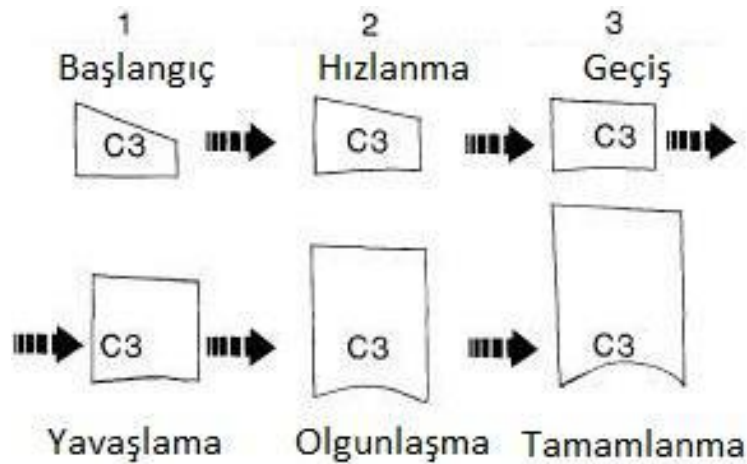
Lamparski ortodontik tedaviye başlamadan önce rutin olarak alınan lateral sefalometrik radyografilerde servikal vertebraların maturasyonel değişikliklerinden yola çıkarak büyüme gelişim döneminin tespit edilebilirliğini değerlendirmiştir. Bu amaçla C2, C3, C4, C5 ve C6 vertebralarını incelemiş ve bir sınıflama oluşturmuştur (Şekil 7). Lamparski tarafından geliştirilen sınıflama şu şekildedir(86);



Şekil 7. Lamparski'nin servikal vertebra maturasyon aşamaları(84)

1. Aşama: Tüm servikal vertebraların alt kenarları düzdür ve üst kenarlar arkadan öne doğru eğimlidir.
2. Aşama: 2. vertebranın alt kenarında konkavite gelişmiştir. Vertebraların ön kenarının dikey yüksekliği artmıştır.
3. Aşama: 3. vertebranın alt kenarında konkavite oluşmuştur. Diğer vertebraların alt kenarları ise hala düzdür.
4. Aşama: Bütün servikal vertebraların gövdeleri dikdörtgen şeklini almıştır. 3. servikal vertebranın alt kenarındaki konkavitenin derinliği artmış, 4. servikal vertebranın alt kenarında konkavite oluşmaya başlamıştır. 5. ve 6. servikal vertebraların alt kenarındaki konkavite henüz başlangıç aşamasındadır.
5. Aşama: Servikal vertebra gövdeleri neredeyse kare şeklindedir. Vertebralar arası uzaklıklar azalmıştır. 6 servikal vertebranın tamamının alt kenarındaki konkaviteler belirginleşmiştir.
6. Aşama: Tüm vertebraların dikey boyutu artmıştır ve vertebraların dikey boyutları genişliklerinden büyüktür. Vertebraların alt kenarındaki konkaviteler derinleşmiştir.

Hassel ve Farman(57), Lamparski yöntemini Fishman'ın el-bilek bölgesi için tanımladığı 11 aşamalı iskelet maturasyon göstergeleri ile entegre ederek yeniden kategorize etmiştir. 8-18 yaş aralığındaki 220 bireyin C2, C3, C4 vertebra gövdelerinde meydana gelen morfolojik değişiklikleri 6 kategoriye ayırmışlardır. Elde ettikleri sonuçları C3 vertebraşında şematize ederek göstermişlerdir (Şekil 8).



Şekil 8. C3 vertebraşına ait maturasyon göstergeleri

Hassel ve Farman'ın servikal vertebra maturasyon göstergeleri(57);

1. Başlangıç

- Önemli miktarda adolesan büyüme beklenir.
- C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarları düzdür.
- Vertebraların üst kenarları arkadan öne doğru eğimlidir.

2. Hızlanma

- Önemli miktarda adolesan büyüme beklenir.
- C2 ve C3 vertebralarının alt kenarında konkavite gelişir.
- C4 vertebraasının alt kenarı düzdür.
- C3 ve C4 vertebraları neredeyse dikdörtgen şeklindedir.

3. Geçiş

- Ortalama düzeyde adolesan büyüme beklenir.
- C2 ve C3 vertebralarının alt kenarındaki konkaviteler belirginleşir.
- C4 vertebraasının alt kenarında konkavite gelişmeye başlar.
- C3 ve C4 vertebraları dikdörtgen şeklindedir.

4. Yavaşlama

- Az miktarda adolesan büyüme beklenir.
- C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarında belirgin konkaviteler görülür.
- C3 ve C4 vertebraları neredeyse kare şeklindedir.

5. Olgunlaşma

- Önemsiz miktarda adolesan büyüme beklenir.
- C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarındaki konkaviteler belirginleşmiştir.
- C3 ve C4 vertebraları kare şeklindedir.

6. Tamamlanma

- Adolesan büyüme tamamlanmıştır.
- C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarında derin konkaviteler mevcuttur.
- C3 ve C4 vertebraasının yükseklikleri genişliklerinden fazladır.

Baccetti ve ark.(84), 2002 yılında yayınladıkları çalışmada; 30 bireyden belirli zaman aralıklarında 6 sefalometrik radyografi almış ve mandibular büyüme ile

servikal vertebra maturasyonu arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışma; C2, C3 ve C4 vertebraalarının görsel ve sefalometrik analizini içeren iki ayrı etapta planlanmıştır.

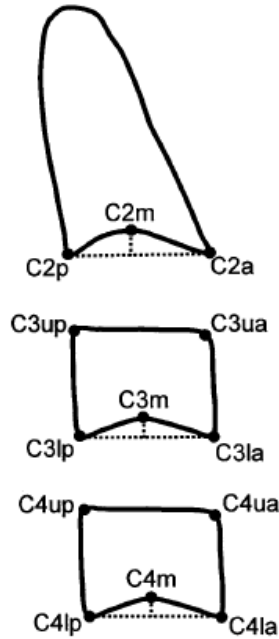
1. Görsel analiz

Görsel analiz de iki etaptan oluşur. İlk etapta C2, C3 ve C4 vertebraalarının alt kenarında konkavite oluşup oluşmadığı değerlendirilirken, 2. etapta C3 ve C4 vertebra gövdelerinin şekli değerlendirilir. Vertebra gövdeleri maturasyon dönemine bağlı olarak 4 farklı şekilde bulunabilir;

- Trapezoid (yamuk): Vertebraanın üst kenarı arkadan öne doğru eğimlidir.
- Yatay dikdörtgen: Ön ve arka kenar uzunlukları eşit, üst ve alt kenar uzunlukları ise ön ve arka kenardan daha uzundur.
- Kare: Bütün kenarlar birbirine eşittir.
- Dikey dikdörtgen: Ön ve arka kenarlar, üst ve alt kenarlardan daha uzundur.

2. Sefalometrik analiz

C2, C3 ve C4 vertebraalarında belirlenen noktalar üzerinden sefalometrik ölçümler yapılmıştır (Şekil 9).

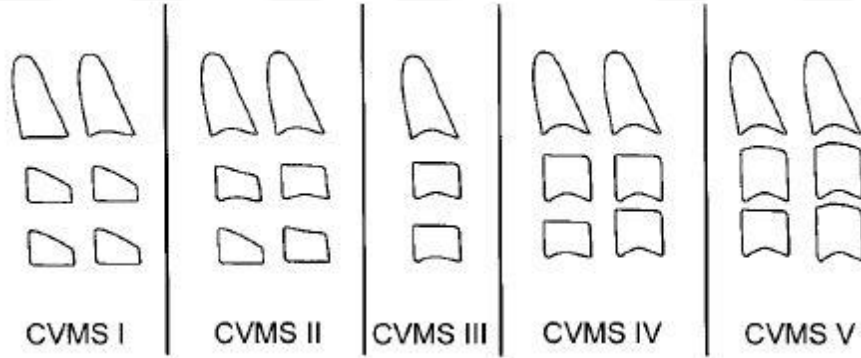


Şekil 9. Baccetti ve ark. servikal vertebra referans noktaları

Belirlenen referans noktaları üzerinden aşağıdaki ölçümler yapılmıştır:

- C2, C3 ve C4 vertebralarının her birinin alt kenarındaki konkavitenin en derin noktasının alt kenara olan dik uzaklığı
- C3BAR: 3. Servikal vertebranın alt kenar uzunluğunun (C3lp-C3la) anterior yüksekliğine (C3ua-C3la) oranı
- C3PAR: 3. Servikal vertebranın posterior yüksekliğinin (C3up-C3lp) anterior yüksekliğine (C3ua-C3la) oranı
- C4BAR: 4. Servikal vertebranın alt kenar uzunluğunun (C4lp-C4la) anterior yüksekliğine (C4ua-C4la) oranı
- C4PAR: 4. Servikal vertebranın posterior yüksekliğinin (C4up-C4lp) anterior yüksekliğine (C4ua-C4la) oranı

Yapılan çalışma sonucunda C2, C3 ve C4 vertebralarında büyüme ile beraber alt kenarda konkavite oluştuğunu ve derinleştiğini, ayrıca C3BAR, C3PAR, C4BAR, C4PAR oranlarının azaldığını bildirmişlerdir. Elde edilen veriler ve mandibular büyümenin takibi sonucunda servikal vertebra maturasyonunu tanımlamak için 5 aşamalı bir sınıflama oluşturmuşlardır (Şekil 10).



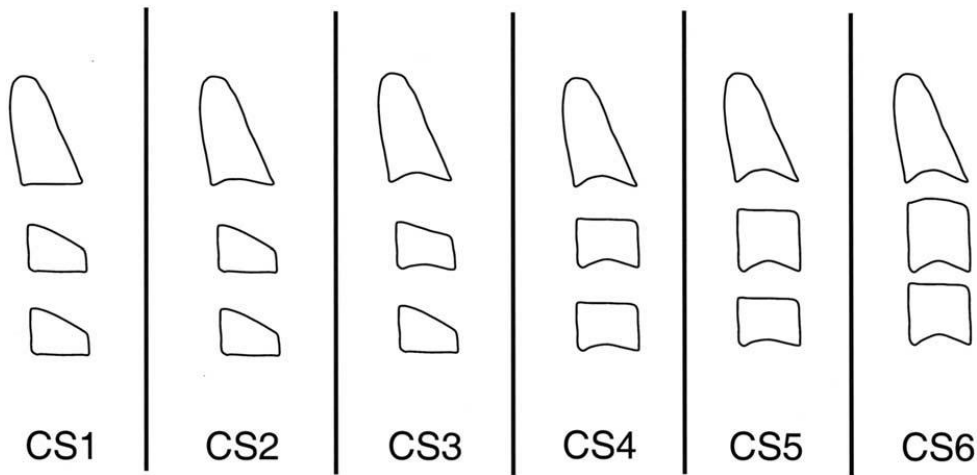
Şekil 10. Baccetti ve ark. servikal vertebra maturasyon aşamaları 'CVMS'

Baccetti ve ark.'nın servikal vertebra maturasyon aşamaları şu şekildedir:

- 1. CVMS I:** C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarları düzdür. Bireylerin neredeyse yarısında C2 vertebrasının alt kenarında konkavite görülebilir. C2 ve C3 vertebra gövdeleri yamuk şeklindedir. Bu aşamadan en az bir yıl sonra mandibular büyüme atağı beklenmektedir.

2. **CVMS II:** C2 ve C3 vertebralarının alt kenarında konkavite vardır. C2 ve C3 vertebra gövdeleri yatay dikdörtgen şeklindedir. Mandibular büyüme atılımı bu aşamadan sonra 1 yıl içinde gerçekleşecektir.
3. **CVMS III:** C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarında konkavite vardır. C3 ve C4 vertebra gövdeleri yatay dikdörtgen şeklindedir. Bu aşamadan 1 ya da 2 yıl önce mandibular büyüme atılımı gerçekleşmiştir.
4. **CVMS IV:** C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarında konkavite vardır. C3 ya da C4 vertebralarından en az bir tanesi kare şeklindedir. Bu aşamadan en az bir yıl önce mandibular büyüme atağı sonlanmıştır.
5. **CVMS V:** C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarında belirgin bir konkavite vardır. C3 ya da C4 vertebralarından en az biri dikey dikdörtgen şeklindedir. Diğer vertebra dikey dikdörtgen şeklinde değilse kare şeklindedir. Bu aşamadan en az iki yıl önce mandibular büyüme atağı sonlanmıştır.

Baccetti ve ark. 2005 yılında, 2002 yılında yayınladıkları çalışmanın verilerini kullanarak sınıflamalarını modifiye etmiş ve tekrar yayınlamıştır. Bu modifikasyonun sebebi; bireylerin yüzde %80'inde görülen 2. vertebra alt kenarındaki konkavitenin CVMS I ve CVMS II aşamalarını ayırmak için istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç oluşturmasıdır. Oluşturdukları 6 aşamalı yeni sınıflama şu şekildedir (Şekil 11) (2):



Şekil 11. Baccetti ve ark.'nın modifiye 'CVMS' sınıflaması

1. **CVMS I:** C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarları düzdür. C3 ve C4 vertebra gövdeleri yamuk şeklindedir. Bu aşamadan ortalama iki yıl sonra mandibular büyüme atağı beklenmektedir.
2. **CVMS II:** C2 vertebraasının alt kenarında konkavite vardır. C3 ve C4 vertebra gövdeleri hala yamuk şeklindedir. Mandibular büyüme atağı bu aşamadan ortalama 1 yıl sonra gerçekleşecektir.
3. **CVMS III:** C2 ve C3 vertebralarının alt kenarında konkavite vardır. C3 ve C4 vertebra gövdelerinden bir tanesi yatay dikdörtgen şeklinde olabilir. Mandibular büyüme atağının, bu aşamadan sonraki yıl içerisinde gerçekleşmesi beklenir.
4. **CVMS IV:** C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarında konkavite vardır. C3 ve C4 vertebraları yatay dikdörtgen şeklindedir. Mandibular büyüme atılımı bu aşamadan 1 ya da 2 yıl önce meydana gelmiştir.
5. **CVMS V:** C2, C3, C4 vertebralarının alt kenarındaki konkavite devam eder. C3 ve C4 vertebra gövdelerinden en az birisi kare şeklindedir. Bu aşamadan en az bir yıl önce mandibular büyüme atağı sona ermiştir.
6. **CVMS VI:** C2, C3 ve C4 vertebralarının alt kenarında belirgin bir konkavite vardır. C3 ve C4 vertebra gövdelerinden en az bir tanesi dikey dikdörtgen şeklindedir. Diğer vertebra gövdesi dikey dikdörtgen değilse kare şeklindedir. Bu aşamadan en az iki yıl önce mandibular büyüme atağı sona ermiştir.

2.4.4.3.1.1. Servikal Vertebralardan Yararlanılarak İskelet Yaşının Belirlemede Kullanılan Morfometrik Yöntemler

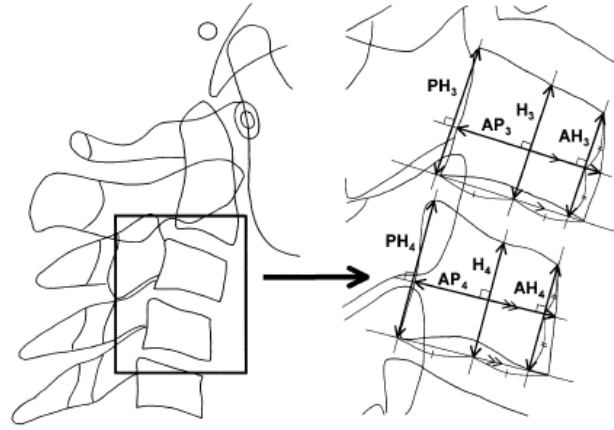
Büyüme gelişim dönemini tespit etmek için servikal vertebralardan yararlanarak oluşturulan sınıflamaların literatüre girmesinden sonra, oluşturulan sınıflamaların güvenilirliği ve tekrarlanabilirliğini değerlendirmek için konu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Gabriel ve ark.(11) ile Nestman ve ark.'nın(12) servikal vertebraların görsel analizinin güvenilirliği üzerine yapmış olduğu çalışmada ortodontistlerin 30 lateral sefalometrik radyografide servikal vertebraların morfolojilerini değerlendirmeleri istenmiştir. Araştırmanın sonucunda vertebra alt

kenarındaki konkavite değerlendirilmesinde gözlemciler arası uyum yüksek iken, vertebraların gövde şekillerinin (yamuk, yatay dikdörtgen, kare, dikey dikdörtgen) değerlendirilmesinde gözlemciler arası uyum daha düşük bulunmuştur. Bu veriler sonucunda araştırmacılar servikal vertebra maturasyon yönteminin tekrarlanabilirliğinin düşük olduğunu ve ortodontik tedavi planması için kesin bir kılavuz olarak kullanılamayacağını bildirmişlerdir. Bu nedenle son yıllarda görsel analiz yerine morfometrik yöntemler kullanılarak, gözlemci kaynaklı hataları azaltmak, tekrarlanabilirlik ve güvenilirliği arttırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla yayınlanan birçok çalışmada servikal vertebralarda çeşitli ölçümler yapılarak kemik yaşının elde edildiği bir regresyon formülü oluşturulmuştur(13, 14, 16, 88). Aşağıda, morfometrik ölçümler ile iskelet yaşı formüle edilmesine örnek olabilecek çalışmaların bazılarına yer verilmiştir.

Mito ve ark.(13), 2002 yılında servikal vertebralardan iskelet yaşı tespiti için 2 aşamalı bir çalışma planlanmışlardır. Çalışmanın 1. aşamasında, 7-14,9 yaş aralığındaki 176 bireyin lateral sefalometrik radyografilerinde C3 ve C4 vertebralarında;

- Vertebra gövdesinin ön yüksekliği (AH)
- Vertebra gövde yükseliği (H)
- Vertebra gövdesinin arka yüksekliği (PH)
- Vertebra gövde uzunluğunu (AP) ölçmüştür (Şekil 12).

AH/AP, H/AP, PH/AP, AH/H, H/PH, AH/PH oranları ve kronolojik yaş kullanılarak iskelet yaşını veren bir regresyon formülü elde edilmiştir. Elde edilen formül $(- 0,20 + 6,20 \times (AH3/AP3) + 5,90 \times (AH4/AP4) + 4,74 \times (AH4/PH4))$ şeklindedir.



Şekil 12. mito ve ark.'nın yaptığı ölçümler

Mito ve ark. çalışmanın 2. aşamasında, 8-13 yaş aralığındaki 66 kız kontrol grubu olarak belirlemiş ve el-bilek radyografilerinden TW2 metoduna göre iskelet yaşını belirlemiş ve servikal vertebralardan regresyon formülü ile elde ettikleri iskelet yaşı ile karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda servikal vertebralardan elde edilen iskelet yaşı ile el bilek filmlerinden elde edilen iskelet yaşı arasında, kronolojik yaşa göre daha yüksek korelasyon bulunmuştur. Regresyon yöntemi ile belirledikleri iskelet yaşı ile TW2 metoduyla belirledikleri iskelet yaşı arasındaki fark 0,75 yıl (mutlak değer) iken, regresyon denklemi ile belirlenen iskelet yaşı ile kronolojik yaş arasındaki fark 1,17 yıldır.

San Roman ve ark.(88), 5-18 yaş aralığındaki 958 bireyin lateral sefalometrik radyografilerinde vertebralarda; şekil, yükseklik ve alt kenarındaki konkavite aşamaları değerlendirmiş ve kızlar ve erkekler için servikal vertebra maturasyon dönemini elde ettikleri yeni bir formül oluşturmuşlardır. Kızlar için elde edilen formül; $0,029 + 0,914$ konkavite aşaması+ $0,745$ yükseklik aşaması iken, erkekler için elde edilen formül $-0,838 + 0,771$ konkavite aşaması+ $0,840$ yükseklik aşaması+ $0,229$ şekil aşamasıdır.

Vertebralardan maturasyon dönemi tespitinde, formülden de belli olduğu üzere en etkili olan parametrenin vertebra alt kenarındaki konkavite olduğunu bildirmişlerdir. Buldukları yeni yöntemin el-bilek radyografileri yerine kullanılabilir olduğunu (kızlarda $r=0,79$, erkeklerde $r=0,69$) belirtmişlerdir.

2.5. Yapay Zeka

Zeki makineler yapma bilimi ve mühensiliği olarak tanımlanan yapay zeka terimi ilk olarak 1956'da John McCarthy tarafından kullanılmıştır(89). Yapay zeka aynı zamanda, insan zekası gerektiren görevleri yerine getirmek için sistemler oluşturan bir bilgisayar bilimi dalı olarak da tanımlanabilir(90).

Günlük kullanımda yapay zeka, makine öğrenmesi ve derin öğrenme sıklıkla birbiri yerine kullanılan kavramlar olsa da kapsam ve sınırlılıkları açısından birbirinden ayrılmaktadırlar. Esasında yapay zeka çok geniş bir kavram olup, makine öğrenmesi yapay zekanın, derin öğrenme ise makine öğrenmesinin alt kümesi olarak tanımlanabilir(90).

Yapay zeka tıp alanında; hastalıkların tanı, tedavi ve prognozu, bilgisayarlı tomografi ile karaciğer metastazı segmentasyonu, beyin tümörü segmentasyonu ve akciğer hastalıklarının sınıflandırılması gibi pek çok alanda kullanılmaktadır(90-93).

2.5.1. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi; algoritmaların beklenen işlevi yapması için net bir şekilde kodlanmasındansa, algoritmanın öğrenme modeline göre, eldeki verilerle eğitilerek sonuç vermesini sağlayan, yapay zekanın alt dalıdır. Eğitim için gereken veri miktarı istenilen işlevin karmaşıklığına bağlıdır(90). Makine öğrenmesinde pek çok farklı metot olmakla beraber en sık denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme kullanılır. Denetimli öğrenmede; makineye öğretilmek istenen model, etiketleri ile sunulur ve makineye öğretilir. Daha sonra öğretilen bu model üzerinden yeni ve etiketli olmayan örnekler için tahmin yapması beklenir. Modelin öğretilmesi için verilen veriler eğitim setini, modelin başarısını test etmek için verilen veriler ise test setini oluşturur. Denetimsiz öğrenmede ise makineye öğretilmek istenen model etiketsiz olarak sunulur. Modeller arası benzerlik ve ilişkilere göre algoritmanın anlamlı çıkarımlar yapması hedeflenir. Amaç veri setleri arasındaki gizli örüntüleri tespit etmektir. Denetimli öğrenmede modelin başarısı test edilebilirken, denetimsiz öğrenmede etiketler bulunmadığı için model başarısı test edilemez. Pekiştirmeli öğrenme ise bir davranışsal öğrenme modelidir. Etki-tepki prensibi ile öğrenme sağlanır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Yapmış olduğumuz tez çalışması, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı tarafından 2023/33 karar numarası ile bilimsel ve etik yönden uygun bulunmuştur (Ek. 1 Etik Kurul Onayı). Çalışmamız, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Ana bilim dalı'nda gerçekleştirilmiş olup, çalışma için kullanılan radyografiler, 2019-2023 yılları arasında bölümümüze tedavi amacıyla başvurmuş olan 7-18 yaş aralığındaki (kız ve erkek) hastalardan rutin olarak alınan el-bilek ve sefalometrik radyografilerinin arşiv kayıtlarının taranması ile restrospektif olarak oluşturulmuştur. Kliniğimize başvuran tüm hastalardan ya da 18 yaş altı hastalar için ebeveynlerinden/yasal temsilcilerinden tedavi kayıtlarının kimlik bilgileri saklı kalacak şekilde bilimsel araştırmalarda kullanılabileceğine dair aydınlatılmış onam formu alınmaktadır.

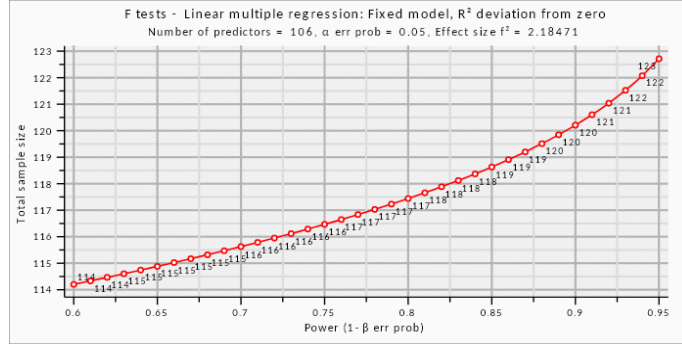
Çalışmada kullanılacak radyografi sayısının belirlenmesi için yapılan güç analizi sonucuna göre; Bağımsız değişken sayısı 106 olarak alındığında;

Varshosaz vd. (2011) çalışmasında düzeltilmiş $R^2=0,686$ sonucu dikkate alındığında %95 güven ($1-\alpha$), %95 test gücü ($1-\beta$), $f^2= 2,185$ etki büyüklüğü ile alınması gereken minimum örnek sayısı 123 olarak belirlenmiştir (94) .

3.1. Gpower Protokolü

F tests - Linear multiple regression: Fixed model, R^2 deviation from zero

Analysis:	A priori: Compute required sample size	
Input:	Effect size f^2	= 2.1847134
α err prob	=	0.05
Power ($1-\beta$ err prob)	=	0.95
Number of predictors	=	106
Output:	Noncentrality parameter λ	= 268.7197
Critical F	=	2.0652184
Numerator df	=	106
Denominator df	=	16
Total sample size	=	123
Actual power	=	0.9539806



Bağımsız değişken sayısı 53 olarak alındığında;

Varshosaz vd. (2011) çalışmasında düzeltilmiş $R^2=0,686$ sonucu dikkate alındığında %95 güven (1- α), %95 test gücü (1- β), $f^2= 2,185$ etki büyüklüğü ile alınması gereken minimum örnek sayısı 69 olarak belirlenmiştir (94).

Gpower Protokolü

F tests - Linear multiple regression: Fixed model, R^2 deviation from zero

Analysis:

A priori: Compute required sample size

Input:

Effect size $f^2 = 2.1847134$

α err prob

= 0.05

Power (1- β err prob)

= 0.95

Number of predictors

= 53

Output:

Noncentrality parameter $\lambda = 150.7452$

Critical F

= 2.1719456

Numerator df

= 53

Denominator df

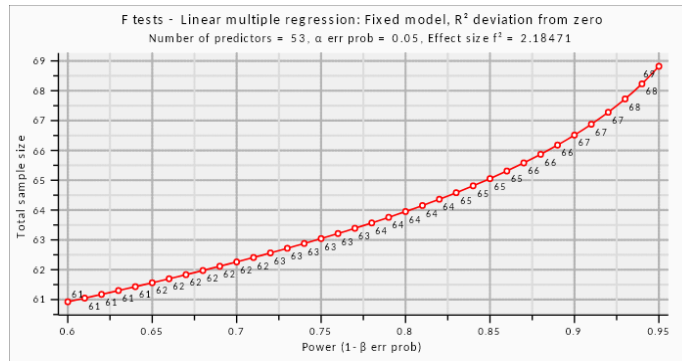
= 15

Total sample size

= 69

Actual power

= 0.9527796



Fakat tez çalışmamızda kullandığımız makine öğrenmesi yöntemleri büyük veri analizlerinde etkili ve efektif sonuç verdiği için belirlenen tarih aralığında kriterlerimize uygun 794 bireyin el-bilek ve lateral sefalometrik radyografileri çalışmamıza dahil edilmiştir

3.2. Hasta Seçimi

Çalışmamıza;

- Sistemik olarak sağlıklı
- El-bilek ve sefalometrik radyografisinin aynı gün içinde alınmış olan
- Radyografilerdeki sert dokuların net şekilde izlenebildiği
- Herhangi bir sendromu bulunmayan
- Dudak damak yarığı bulunmayan
- 7-18 yaş aralığındaki Türk bireyler dahil edilmiştir.

Çalışmamızdan dışlanma kriterleri ise şu şekildedir;

- Baş boyun travması geçirilmiş olması
- Hormon tedavisi öyküsü bulunması
- Büyümeyi ve kemik metabolizmasını etkileyen sistemik hastalık ve/veya sendrom bulunması
- Servikal vertebra ve el-bilek kemiklerinde malformasyon bulunması
- Görüntü kalitesi iyi olmayan ve artefakt varlığını bulunan radyografiler çalışma dışı bırakılmıştır.

3.3. Radyografik Ölçüm ve Değerlendirilmelerin Yapılması

Çalışmamızda yer alan el-bilek ve lateral sefalometrik radyografiler, 60 kVp, 4 mA ve 10.5 s parametrelerine sahip bir Planmeca Promax 2D S2 (Planmeca Oy; Helsinki, Finlandiya) cihazı kullanılarak elde edildi.

Sefalometrik radyografilerin çekimi sırasında dişleri sentrik oklüzyon durumundaki hasta; sagittal düzlemi film düzlemine paralel ve yere dik, Frankfurt düzlemi yere paralel, hastanın başının sol tarafı görüntü reseptörüne yakın olacak şekilde pozisyonlandırılmıştır. Hastanın ışınlama süresince sabit durması için sefalostat kullanılmıştır. Tüm radyografilerde 45 mm uzunluğunda bir kalibrasyon çubuğu bulunmaktadır. Sefalometrik radyografiler üzerinde yapılan lineer ve açısal ölçümler için AudaxCeph sürüm 4.2.0.3101 yazılımı (Audax d.o.o., Ljubljana, Slovenya) kullanıldı.

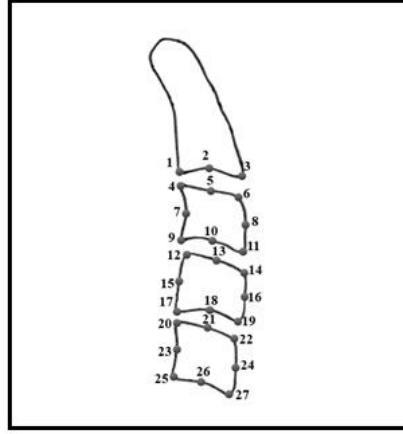
El-bilek radyografilerinin çekimi sırasında ise;

- El-bilek radyografilerinin sol elden alınmış olmasına
- Elin kol kemikleri ile açı oluşturmada, parmaklar serbestçe aralanmış biçimde konumlandırılmasına
- Radius ve ulna kemiklerinin distal uçları ile parmak uçlarının filmde taşmamasına dikkat ederek merkezi ışının film düzlemine dik ve ortasına denk gelecek şekilde yapılmasına
- Radyografinin çekimi sırasında yüzük, saat gibi aksesuarların çıkarılmasına
- Radyografilerinin standart şekilde çekilmesine dikkat edilmiştir.

Çalışma verileri; el-bilek radyografilerinde Fishman yöntemine göre maturasyon dönemi(66, 77) ve GP atlasına göre iskelet yaşı(95) tespitine ek olarak lateral sefalometrik radyografilerde belirlenen uzunluk, açısal ve oransal ölçümlerin yapılması ile elde edilmiştir.

3.3.1. Lateral Sefalometrik Radyografilerin Analizinde Kullanılan Noktalar ve Ölçümler

Çalışmamızda C2, C3, C4 ve C5 vertebraalarında belirlediğimiz referans noktalarından (şekil 13) 44 uzunluk, 9 açısal ve 91 oransal ölçüm olmak üzere toplamda 144 ölçüm yapılmıştır. Yapılacak olan ölçümleri belirlemek için kapsamlı bir literatür taraması yapılmış olup ve benzer çalışmalardaki bütün ölçümler (81 ölçüm) çalışmamıza dahil edilmiştir(6, 9, 96). Çalışmamızda kullandığımız 44 uzunluk ölçümünün 18 tanesi, 9 açısal ölçümün tamamı ve 91 oransal ölçümün 54 tanesi literatürde bulunmayıp bizim tarafımızdan oluşturmuştur. Servikal vertebraalar üzerinde yapılacak ölçümler için belirlenen referans noktalarının şematik şekli Şekil 13'de isimlendirilmesi ise Tablo 2'de gösterilmiştir.

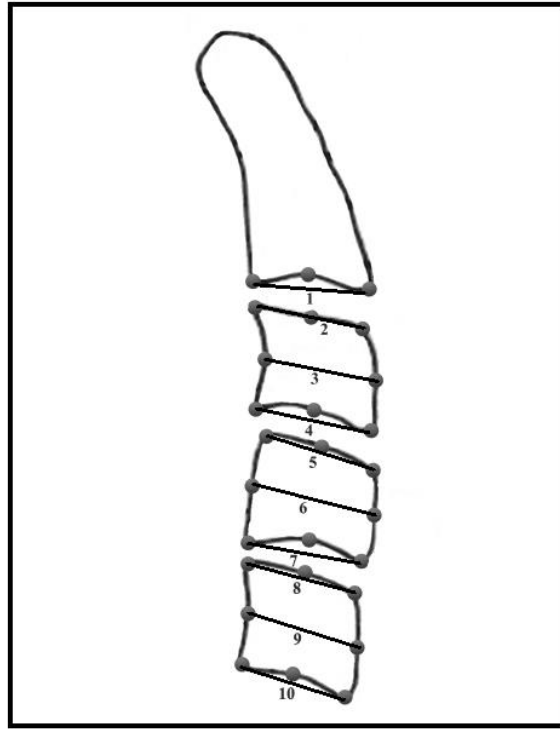


Şekil 13. Servikal vertebralardaki referans noktaları

Tablo 2. Servikal vertebra referans noktaları

Numara	Nokta adı	Tanımı
1	SVp	2. Servikal vertebranın alt kenarının en arka noktası
2	SVd	2. Servikal vertebranın alt kenarındaki iç bükeyliğin en derin noktası
3	SVa	2. Servikal vertebranın alt kenarının en ön noktası
4	TVup	3. Servikal vertebranın üst kenarının en arka noktası
5	TVum	3. Servikal vertebranın üst kenarının orta noktası
6	TVua	3. Servikal vertebranın üst kenarının en ön noktası
7	TVpm	3. servikal vertebranın arka kenarının orta noktası
8	TVam	3. servikal vertebranın ön kenarının orta noktası
9	TVlp	3. Servikal vertebranın alt kenarının en arka noktası
10	TVd	3. Servikal vertebranın alt kenarındaki iç bükeyliğin en derin noktası
11	TVla	3. Servikal vertebranın alt kenarının en ön noktası
12	FVup	4. Servikal vertebranın üst kenarının en arka noktası
13	FVum	4. Servikal vertebranın üst kenarının orta noktası
14	FVua	4. Servikal vertebranın üst kenarının en ön noktası
15	FVpm	4. Servikal vertebranın arka kenarının orta noktası
16	FVam	4. Servikal vertebranın ön kenarının orta noktası
17	FVlp	4. Servikal vertebranın alt kenarının en arka noktası
18	FVd	4. Servikal vertebranın alt kenarındaki iç bükeyliğin en derin noktası
19	FVla	4. Servikal vertebranın alt kenarının en ön noktası
20	FiVup	5. Servikal vertebranın üst kenarının en arka noktası
21	FiVum	5. Servikal vertebranın üst kenarının orta noktası
22	FiVua	5. Servikal vertebranın üst kenarının en ön noktası
23	FiVpm	5. Servikal vertebranın arka kenarının orta noktası
24	FiVam	5. Servikal vertebranın ön kenarının orta noktası
25	FiVlp	5. Servikal vertebranın alt kenarının en arka noktası
26	FiVd	5. Servikal vertebranın alt kenarındaki iç bükeyliğin en derin noktası
27	FiVla	5. Servikal vertebranın alt kenarının en ön noktası

C2, C3, C4 ve C5 vertebralarında, belirlenen referans noktalarından yapılan lineer yatay ölçümler Şekil 14 ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

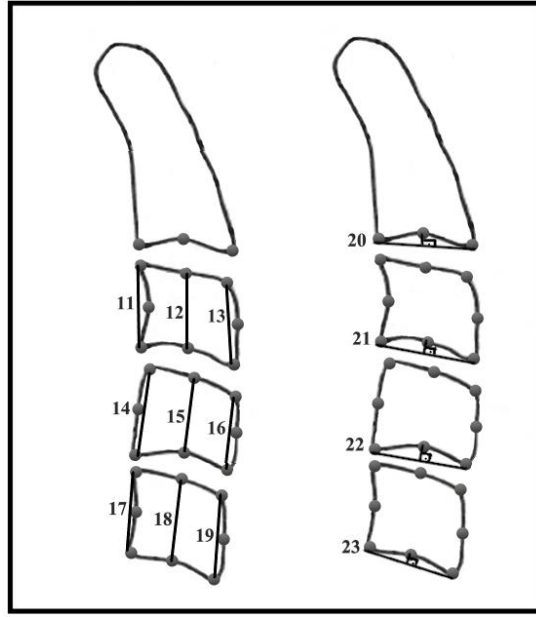


Şekil 14. lineer yatay ölçümler

Tablo 3. Lineer yatay ölçümler

Numara	Ölçüm adı	Tanımı
1	SVp-SVa	1 numaralı nokta ile 3 numaralı nokta arasındaki mesafe
2	TVup-TVua	4 numaralı nokta ile 6 numaralı nokta arasındaki mesafe
3	TVpm-TVam	7 numaralı nokta ile 8 numaralı nokta arasındaki mesafe
4	TVlp-TVla	9 numaralı nokta ile 11 numaralı nokta arasındaki mesafe
5	FVup-FVua	12 numaralı nokta ile 14 numaralı nokta arasındaki mesafe
6	FVpm-FVam	15 numaralı nokta ile 16 numaralı nokta arasındaki mesafe
7	FVlp-FVla	17 numaralı nokta ile 19 numaralı nokta arasındaki mesafe
8	FiVup-FiVua	20 numaralı nokta ile 22 numaralı nokta arasındaki mesafe
9	FiVpm-FiVam	23 numaralı nokta ile 24 numaralı nokta arasındaki mesafe
10	FiVlp-FiVla	25 numaralı nokta ile 27 numaralı nokta arasındaki mesafe

C2, C3, C4 ve C5 vertebralarında, belirlenen referans noktalarından yapılan lineer dikey ölçümler Şekil 15 ve Tablo 4’te gösterilmiştir.



Şekil 15. Lineer dikey ölçümler

Tablo 4. Lineer dikey ölçümler

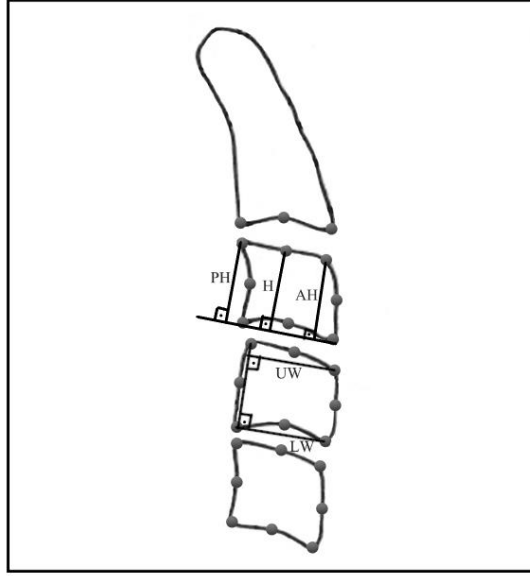
Numara	Ölçüm adı	Tanımı
11	TVup-TVlp	4 numaralı nokta ile 9 numaralı nokta arasındaki mesafe
12	TVum-TVd	5 numaralı nokta ile 10 numaralı nokta arasındaki mesafe
13	TVua-TVla	6 numaralı nokta ile 11 numaralı nokta arasındaki mesafe
14	FVup-FVlp	12 numaralı nokta ile 17 numaralı nokta arasındaki mesafe
15	FVum-FVd	13 numaralı nokta ile 18 numaralı nokta arasındaki mesafe
16	FVua-FVla	14 numaralı nokta ile 19 numaralı nokta arasındaki mesafe
17	FiVup-FiVlp	20 numaralı nokta ile 25 numaralı nokta arasındaki mesafe
18	FiVum-FiVd	21 numaralı nokta ile 26 numaralı nokta arasındaki mesafe
19	FiVua-FiVla	22 numaralı nokta ile 27 numaralı nokta arasındaki mesafe
20	SVD	2 numaralı noktanın (SVd) 2. servikal vertebranın alt kenarına olan dik uzaklığı
21	TVD	10 numaralı noktanın (TVd) 3. servikal vertebranın alt kenarına olan dik uzaklığı
22	FVD	18 numaralı noktanın (FVd) 4. servikal vertebranın alt kenarına olan dik uzaklığı
23	FiVD	26 numaralı noktanın (FiVd) 5. Servikal vertebranın alt kenarına olan dik uzaklığı

C2, C3, C4 ve C5 vertebalarında lineer yatay ve dikey ölçümler (Tablo3/4) üzerinden yapılan 64 oransal ölçüm ise Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Vertebralarda yapılan oransal ölçümler

2. VERTEBRA	3. VERTEBRA	4. VERTEBRA	5. VERTEBRA
20 lineer/1 lineer	12 lineer/11 lineer	15 lineer/14 lineer	18 lineer/17 lineer
	2 lineer/4 lineer	22 lineer/5 lineer	23 lineer/8 lineer
	12 lineer/13 lineer	15 lineer/16 lineer	18 lineer/19 lineer
	21 lineer/2 lineer	6 lineer/5 lineer	9 lineer/8 lineer
	12 lineer/2 lineer	15 lineer/5 lineer	18 lineer/8 lineer
	3 lineer/2 lineer	6 lineer/7 lineer	9 lineer/10 lineer
	12 lineer/4 lineer	15 lineer/7 lineer	18 lineer/10 lineer
	3 lineer/4 lineer	6 lineer/16 lineer	9 lineer/19 lineer
	12 lineer/3 lineer	15 lineer/6 lineer	18 lineer/9 lineer
	3 lineer/13 lineer	22 lineer/6 lineer	23 lineer/9 lineer
	21 lineer/12 lineer	22 lineer/15 lineer	23 lineer/18 lineer
	21 lineer/3 lineer	22 lineer/7 lineer	23 lineer/10 lineer
	11 lineer/3 lineer	14 lineer/6 lineer	17 lineer/9 lineer
	21 lineer/4 lineer	16 lineer/14 lineer	19 lineer/17 lineer
	11 lineer/4 lineer	14 lineer/7 lineer	17 lineer/10 lineer
	13 lineer/11 lineer	16 lineer/7 lineer	19 lineer/10 lineer
	11 lineer/2 lineer	14 lineer/5 lineer	17 lineer/8 lineer
	13 lineer/4 lineer	16 lineer/5 lineer	19 lineer/8 lineer
	21 lineer/11 lineer	22 lineer/14 lineer	23 lineer/17 lineer
	13 lineer/2 lineer	22 lineer/16 lineer	23 lineer/19 lineer
	21 lineer/13 lineer	5 lineer/7 lineer	8 lineer/10 lineer

C2, C3, C4 ve C5 vertebalarında yapılan yükseklik ölçümleri Tablo 6'da, genişlik ölçümleri ise Tablo 7'de gösterilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Yükseklik ve genişlik ölçümleri

Tablo 6. Yükseklik ölçümleri

Numara	Ölçüm adı	Tanımı
24	PH3	4 numaralı noktanın(TVup), 9-11 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
25	H3	5 numaralı noktanın(TVum), 9-11 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
26	AH3	6 numaralı noktanın(TVua), 9-11 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
27	PH4	12 numaralı noktanın(FVup), 17-19 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
28	H4	13 numaralı noktanın(FVum), 17-19 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
29	AH4	14 numaralı noktanın(FVua), 17-19 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
30	PH5	20 numaralı noktanın(FiVup), 25-27 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
31	H5	21 numaralı noktanın(FiVum), 25-27 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
32	AH5	22 numaralı noktanın(FiVua), 25-27 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi

Tablo 7. Genişlik ölçümleri

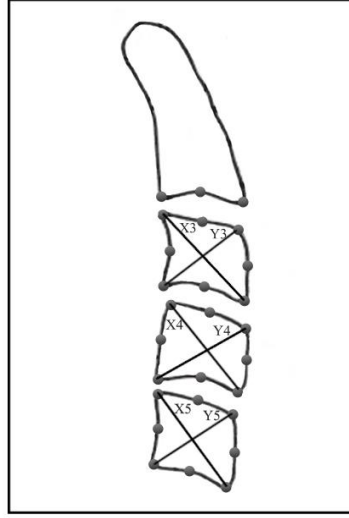
Genişlik ölçümleri (mm)		
Numara	Ölçüm Adı	Tanımı
33	UW3	6 numaralı noktanın(TVua), 4-9 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
34	LW3	11 numaralı noktanın(TVla), 4-9 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
35	UW4	14 numaralı noktanın(FVua), 12-17 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
36	LW4	19 numaralı noktanın(FVla), 12-17 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
37	UW5	22 numaralı noktanın(FiVua), 20-25 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi
38	LW5	27 numaralı noktanın(FiVla), 20-25 numaralı noktalardan geçen doğruya olan vertikal mesafesi

C2, C3, C4 ve C5 vertebralarında yükseklik ve genişlik ölçümleri (Tablo6/7) üzerinden yapılan 27 oransal ölçüm ise Tablo 8 'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Yükseklik ve genişlik oranları

3. VERTEBRA	4. VERTEBRA	5. VERTEBRA
21 lineer/AH3 lineer	22 lineer /AH4 lineer	23 lineer/AH5 lineer
PH3 lineer/UW3 lineer	PH4 lineer/UW4 lineer	PH5 lineer/UW5 lineer
PH3 lineer/LW3 lineer	PH4 lineer/LW4 lineer	PH5 lineer/LW5 lineer
H3 lineer/UW3 lineer	H4 lineer/UW4 lineer	H5 lineer/UW5 lineer
H3 lineer/LW3 lineer	H4 lineer/LW4 lineer	H5 lineer/LW5 lineer
AH3 lineer/UW3 lineer	AH4 lineer/UW4 lineer	AH5 lineer/UW5 lineer
AH3 lineer/LW3 lineer	AH4 lineer/LW4 lineer	AH5 lineer/LW5 lineer
21 lineer/H3 lineer	22 lineer/H4 lineer	23 lineer/H5 lineer
21 lineer/PH3 lineer	22 lineer/PH4 lineer	23 lineer/PH5 lineer

C3, C4 ve C5 vertebralarında yapılan köşegen uzunluk ölçümleri Tablo 9'da gösterilmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. Köşegen uzunluk ölçümleri

Tablo 9. Köşegen uzunluk ölçümleri

Numara	Ölçüm adı	Tanımı
X3	TVup-TVla	4 numaralı nokta ile 11 numaralı nokta arasındaki mesafe
Y3	TVua-TVlp	6 numaralı nokta ile 9 numaralı nokta arasındaki mesafe
X4	FVup-FVla	12 numaralı nokta ile 19 numaralı nokta arasındaki mesafe
Y4	FVua-FVlp	14 numaralı nokta ile 17 numaralı nokta arasındaki mesafe
X5	FiVup-FiVla	20 numaralı nokta ile 27 numaralı nokta arasındaki mesafe
Y5	FiVua-FiVlp	22 numaralı nokta ile 25 numaralı nokta arasındaki mesafe

C3, C4 ve C5 vertebraalarında, şekil 17’de şematize edilmiş olan köşegenler arasındaki açısal ölçümler Tablo 10’te gösterilmiştir (Şekil 18).

Tablo 10. Köşegenler arası açısal ölçümler

Ölçüm adı	Tanımı
D3 açısı	X3 ve Y3 doğruları arasında kalan açı
D4 açısı	X4 ve Y4 doğruları arasında kalan açı
D5 açısı	X5 ve Y5 doğruları arasında kalan açı

C3, C4 ve C5 vertebraalarında, alt kenarın posterior noktası ile üst kenarın anterior noktasını birleştiren doğru (Y köşegeni) ile vertebra alt kenarı arasındaki açısal ölçümler Tablo 11’de gösterilmiştir (Şekil 18).

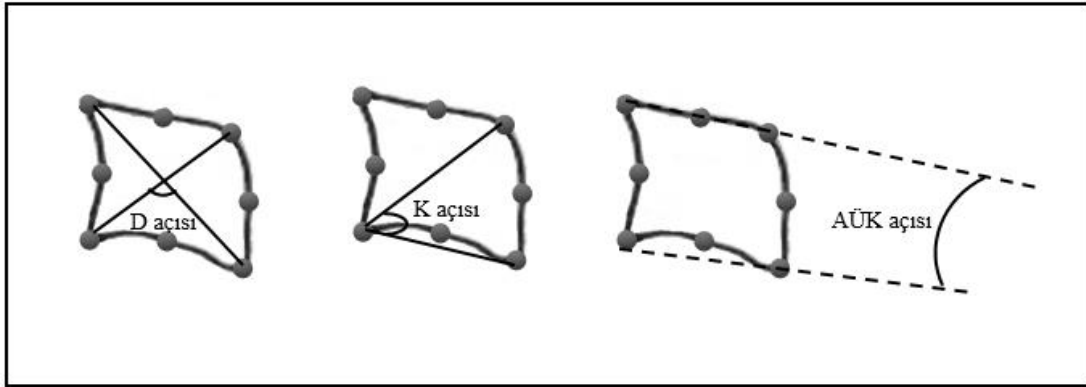
Tablo 11. Vertebraların köşegenleri ile alt kenar uzunluğu arasındaki açısal ölçümler

Ölçüm adı	Tanımı
K3	Y3 doğrusu ile 4 numaralı doğru arasında kalan açı
K4	Y4 doğrusu ile 7 numaralı doğru arasında kalan açı
K5	Y5 doğrusu ile 10 numaralı doğru arasında kalan açı

C3, C4 ve C5 vertebralarının üst ve alt kenarları arasında kalan açısal ölçümler Tablo 12’te gösterilmiştir (Şekil 18).

Tablo 12. Vertebraların üst ve alt kenarları arasında kalan açısal ölçümler

Ölçüm adı	Tanımı
AÜK3	2 ve 4 numaralı doğrular arasında kalan açı
AÜK4	5 ve 7 numaralı doğrular arasında kalan açı
AÜK5	8 ve 10 numaralı doğrular arasında kalan açı



Şekil 18. Açısal ölçümler

3.4. Çalışma Gruplarının Oluşturulması

Çalışmamızda çalışma çıktısı 1 ve 2 olmak üzere iki ayrı çıktı planlanmıştır. Hem çalışma çıktısı 1 hem çalışma çıktısı 2’de sefalometrik radyografiler üzerinden uzunluk, açısal ve oransal ölçüm verilerinin yanında el-bilek radyografilerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu verilerin istatistiksel olarak işlenmesi sırasında çoklu bağlantı problemi oluşmaması amacıyla uzunluk ve uzunluklardan elde edilen oransal ölçümler aynı datasetler içinde kullanılmamış olup her iki çalışma çıktısı için de farklı datasetler oluşturulmuştur (Tablo13/15). Çalışmamızın istatistiği bu datasetler üzerinden yapılmıştır.

Çalışma çıktısı 1; makine öğrenmesi algoritmaları ile farklı datasetler üzerinde sınıflamalar yaparak başarı ölçütlerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini

hedeflemektedir. Bağımsız değişkenler sefalometrik radyografiler üzerinde yapılan uzunluk, açısal ve oransal ölçümler aracılığı ile elde edilmiştir(Tablo 3/4/5/6/7/8/9/10/11/12). Hedef değişkenimiz ise Fishman'ın el-bilek maturasyon dönemine göre evre 1/2/3 şeklinde olup, yapılan sınıflamanın doğruluğu F1 skorları üzerinden değerlendirilmiştir.

Cinsiyet ve kronolojik yaşı F1 skoruna etkisini değerlendirmek, lineer ve oransal ölçümler arasındaki çoklu bağlantı problemini elimine edebilmek amacıyla 6 farklı dataset oluşturulmuştur (Tablo 13).

Tablo 13. Çalışma çıktısı 1 datasetleri

Çalışma çıktısı 1 datasetleri	
Dataset 1	Lineer ölçümler ve açısal ölçümler
Dataset 2	Lineer ölçümler, açısal ölçümler ve cinsiyet
Dataset 3	Lineer ölçümler, açısal ölçümler, cinsiyet ve kronolojik yaş
Dataset 4	Oransal ölçümler ve açısal ölçümler
Dataset 5	Oransal ölçümler, açısal ölçümler ve cinsiyet
Dataset 6	Oransal ölçümler, açısal ölçümler, cinsiyet ve kronolojik yaş

Çalışmamızdaki evrelemeler (hedef değişkenin sınıflaması) el-bilek radyografileri aracılığı ile elde edilmiştir.

Evre 1: SMI 1-3. aşamalar; büyümenin hızlandığı periyodu belirtir.

Evre 2: SMI 4-7. aşamalar; çok yüksek büyüme hızına ulaşıldığını belirtir.

Evre 3: SMI 8-11 aşamalar; büyüme hızının azaldığını belirtir.

3.4.1. Makine öğrenmesinde kullanılacak sınıflandırma yöntemleri

Çalışmamızda; DVM (Support Vector Machine – Destek Vektör Makinesi), GBM (Gradient Boosting Machine – Gradyan Güçlendirme Makinesi), MLP (Multi-Layer Perceptron Neural Network – Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı) makine öğrenme yöntemleri kullanıldı.

DVM; çeşitli alanlarda tahmin ve sınıflama amacıyla en sık kullanılan makine öğrenme yöntemidir(97). Bu modelde doğrusal olarak sınıflandırılabilen veriler doğrusal çizgi ya da hiper düzlem yoluyla sınıflandırılır. Veriler doğrusal olarak sınıflandırılmazsa doğrusal olmayan destek vektör makine yöntemleri kullanılır(98). DVM, farklı sınıf/sınıf değerlerinin arasındaki ayrımı maksimize ederek sınıflandırmayı amaçlar. Ayrıca birden fazla sınıflandırma probleminde de uygulanabilir.(9).

GBM; hem regresyon hem de sınıflandırma problemlerini çözmek için

kullanılabilen topluluk makine öğrenme yöntemidir.

MLP ise yapay sinir ağlarını temel alarak, insan beynindeki nöronların çalışma prensibine benzer şekilde oluşturulmaktadır(99).

Elde edilen sonuçlar çeşitli performans kriterleri ile sunulur (Tablo 14):

Accuracy (Doğruluk) Oranı: Doğruluk oranı, makine öğrenmesi modelinin doğru tahmin ettiği değerlerin oranıdır.

$$TP+TN/TP+TN+FP+FN$$

Precision (Hassasiyet): Modelin, çalışmada kullanılan verilerden toplam kaç tanesinin doğru tahmin ettiğini gösterir.

$$TP/TP+FP$$

Sensitive, Recall (Duyarlılık): Gerçekte pozitif olan durumların hangi oranda model tarafından pozitif olarak tahmin edilmesidir.

$$TP/TP+FN$$

F-1 Score (F-1 Skoru): F-1 Score (F-1 Skoru) ya da F-Measure (F-Ölçütü) olarak da isimlendirilen makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarının başarısını gösteren ve hassasiyet ve geri çağırma değerleri ile hesaplanan bir ölçüt birimidir.

$$2 \times \text{Precision} \times \text{Recall} / \text{Precision} + \text{Recall}$$

Specificty (Özgüllük): Doğru tahmin edilen negatif gerçek değerlerin, tüm negatif gerçek değerlere oranıdır.

$$TN/TN+FP$$

Tahmin hatası: Modelin hatalı olarak tahmin ettiği verilerdir.

$$FP+FN/TP+TN+FP+FN$$

Tablo 14. TP: Modelin pozitif tahmin ettiği pozitif durumları ifade eder. FP: Modelin negatif tahmin ettiği pozitif durumları ifade eder. FN: Modelin pozitif tahmin ettiği negatif durumları ifade eder. TN: Modelin negatif tahmin ettiği negatif durumları ifade eder

		Gerçekte		Toplam
		Pozitif(1)	Negatif(0)	
Tahmin Edilen	Pozitif(1)	TP	FN	TP+FN
	Negatif(0)	FP	TN	FP+TN
Toplam		TP+FP	FN+TN	TP+FN+FP+TN

Her bir makine öğrenmesi algoritma yöntemi, duyarlılık ve özgüllük ifadeleri arasındaki ilişki ROC eğrisi aracılığı ile grafiksel olarak gösterilmiştir. ROC eğrisi, duyarlılık değerine karşılık yanlış pozitif oranların (1-özgüllük) değerlerinin çizilmesi

ile elde edilmiştir. ROC eğrisinin altında kalan alan AUC olarak isimlendirilir. Genel olarak, AUC puanı ne kadar yüksek olursa sınıflandırıcının performansı o kadar iyi demektir. Başka bir deyişle sınıflandırıcının yanlış sınıflamayı ne kadar önlediğinin bir ölçüsüdür.

Çalışma çıktısı 2; Sefalometrik radyografilerde yaptığımız ölçümleri kullanarak makine öğrenmesinde kullanılan regresyon modelleri aracılığı ile (lasso, elastic-net, ridge regresyon), servikal vertebra iskelet yaşını elde ettiğimiz bir formül oluşturulmuştur.

Elde edilen servikal vertebral iskelet yaşı, el bilek radyografilerinden elde edilen Greulich ve Pyle iskelet yaşı ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu verilerin istatistiksel olarak analizinde çoklu bağlantı problemi oluşturmaması için uzunluk ve uzunluklardan elde edilen oransal ölçümler aynı datasetler içinde kullanılmamış, cinsiyet bazında da değerlendirme yapabilmek amacıyla 4 farklı dataset oluşturulmuştur (Tablo 15).

Tablo 15. Çalışma çıktısı 2 datasetleri

ERKEK	Dataset 1	Lineer ölçümler ve açısal ölçümler (ham veri)
	Dataset 2	Oransal ölçümler ve açısal ölçümler (türetilmiş veri)
KIZ	Dataset 3	Lineer ölçümler, açısal ölçümler (ham veri)
	Dataset 4	Oransal ölçümler ve açısal ölçümler (türetilmiş veri)

Genel olarak 4 dataset grubunda da çoklu bağlantı probleminden dolayı, iskelet yaşını tahminlemede elastik net regresyon, ridge regresyon ve lasso regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Ridge, Lasso ve Elastic Net makine öğrenmesinde kullanılan regresyon modelleridir. Bu modeller, özellikle çoklu doğrusal regresyon problemlerinde kullanılır ve hiperparametrelerin ayarlanması sayesinde aşırı uydurmayı önlemek için kullanılır. Hiperparametreler, bir makine öğrenmesi modelinin önceden tanımlanmış ayarlarının bir grubudur. Bu ayarlar, modelin davranışını ve performansını etkilerler. Örneğin, bir lineer regresyon modelinde, hiperparametreler arasında modelin karmaşıklığı, ceza katsayıları (lambda) ve iterasyon sayısı gibi ayarlar yer alabilir. Bu hiperparametreler, modelin doğruluğunu ve performansını arttırmak için düzenlenir.

3.4.2. Makine öğrenmesinde kullanılacak regresyon yöntemleri

Ridge Regresyon: Ridge regresyon, çoklu doğrusal regresyon problemlerinde aşırı uydurmaya karşı korumak için kullanılan bir regresyon modelidir. Bu model, L2 düzenleme terimini kullanarak aşırı uydurmaya neden olan büyük katsayılarının önüne geçer. Ridge regresyon ayrıca, değişkenler arasındaki çoklu doğrusallık problemlerini de çözebilir ve hiperparametre olarak lambda adı verilen bir düzenleme parametresi kullanır(100).

Lasso Regresyon: Lasso regresyon da çoklu doğrusal regresyon problemlerinde aşırı uydurmaya karşı korumak için kullanılan bir regresyon modelidir. Bu model, L1 düzenleme terimini kullanarak büyük katsayıların önüne geçer. Lasso regresyon, bazı değişkenlerin katsayılarını sıfırlayarak değişken seçimini de gerçekleştirir. Bu, modelin daha basit hale gelmesini sağlar ve gereksiz değişkenlerin önlenmesine yardımcı olur. Lasso regresyon, hiperparametre olarak lambda adı verilen bir düzenleme parametresi kullanır(101).

Elastic Net Regresyon: Elastic Net regresyon, hem Lasso hem de Ridge regresyonlarının birleşimi olarak düşünülebilir. Bu model, L1 ve L2 düzenleme terimlerini bir arada kullanarak büyük katsayıların önüne geçer. Bu, Lasso'nun değişken seçimi özelliğini korurken, Ridge'nin çoklu doğrusallık problemlerini çözme özelliğini de korur. Elastic Net, iki hiperparametre kullanır: lambda (L2 düzenleme parametresi) ve alpha (L1 düzenleme parametresi). Elastik net alpha parametresi sıfıra yaklaştıkça Ridge regresyonuna yaklaşır, alpha parametresi 1'e yaklaştıkça ise Lasso regresyonuna yaklaşır(102).

3.5. İstatistiksel Değerlendirme

3.5.1. Çalışma çıktısı 1 istatistiksel değerlendirme

Çalışmada Python 3.10.0. programı kullanıldı. Çalışma “xgboost”, “scikit-learn”, “numpy”, “matplotlib” ve “pandas” kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirildi. Çalışmamızda sınıflandırma için 6 farklı dataset oluşturulmuş (Tablo13) ve 3 farklı yapay zeka sınıflama algoritması (DVM, MLP, GBM) kullanılmıştır. Çalışmamızda sefalometrik radyografilerden elde edilen veriler %80 eğitim ve %20 test veri seti olarak ikiye ayrıldı. Öğrenme, eğitim veri seti kullanılarak 5 katlı çapraz doğrulama sistemi ile gerçekleştirildi. Her bir veri seti üzerinde, içerdikleri hiperparametrelerin farklı kombinasyonları ile makine öğrenmesi yöntemleri çalıştırılmış ve en uygun

hiperparametrelere sahip modeller kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Kurulan modelin başarısı test veri seti kullanılarak belirlenmiştir. Kullanılan her bir algoritma için, elde edilen sonuçlar; doğruluk, hassasiyet, duyarlılık, F1 skoru ve ROC eğrisi performans değerleri ile sunuldu. Gerçekte olan ve tahmin edilen evreler karışıklık matrisi aracılığı ile gösterildi. Başarı ölçütünün yorumlanması ise F1 skorları aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

3.5.2. Çalışma çıktısı 2 istatistiksel değerlendirme

Veriler EvIEWS v12 programı ile analiz edildi. İskelet yaşını tahminlemede yöntem olarak ENET-Elastic Net Regularization metodu kullanıldı. Metod içerisinde yer alan Ridge, Lasso ve Elastik net regresyon modelleri ile tahminleme yapıldı. Ridge ve Lasso yöntemlerinde Lambda hiperparametresi kullanıldı ve optimal lambda değeri min/max oranına göre (0,0001) 50 periyod içerisindeki minimum ortalama hata karesine göre belirlendi. Elastic Net regresyonda ise hem lambda hem de alfa düzenleme parametreleri kullanıldı ve alfa değeri otomatik olarak 0,5 olarak alındı.

4. BULGULAR

4.1. Metot Hatası

Çalışmamızın örneklemlerine dahil edilen bireylerin ilk değerlendirilmeleri yapıldıktan 30 gün sonra, örneklem içinden rastgele seçilen 393 bireyin el-bilek ve lateral sefalometrik radyografileri aynı araştırmacı tarafından ikinci kez değerlendirilmiştir. Gözlemciler arası uyum için seçilen 393 bireyin el-bilek ve lateral sefalometrik radyografileri 2. bir gözlemci tarafından da değerlendirilmiştir.

Gözlemci içi ve gözlemciler arası uyum sınıf içi korelasyon katsayısı ile değerlendirilmiştir. 0,2'den küçük Kappa değerleri zayıf güvenilirliği, 0,21-0,40 arasındaki değerler orta düzeyde güvenilirliği, 0,41-0,60 arasındaki değerler orta derecede güvenilirliği, 0,61-0,80 arasındaki değerler önemli güvenilirliği ve 0,81-1,00 arasındaki değerler mükemmel güvenilirliği gösterir. Fishman evrelemesinin gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumu, mükemmel güvenilirlikle sırasıyla 0,954 (%95 Güven Aralığı: 0,932 ile 0,976) ve 0,945 (%95 Güven Aralığı: 0,921 ile 0,969) bulundu(103).

0,5'ten düşük ICC değerleri zayıf güvenilirliği, 0,5 ile 0,75 arasındaki değerler orta düzeyde güvenilirliği, 0,75 ile 0,9 arasındaki değerler iyi güvenilirliği ve 0,90'dan yüksek değerler mükemmel güvenilirliği gösterir. İskelet yaşı gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumu, mükemmel güvenilirlikle sırasıyla 0,997 (%95 Güven Aralığı: 0,996 ile 0,997) ve 0,997 (%95 Güven Aralığı: 0,996 ile 0,997) bulundu(104). Tablo 16, Tablo 17, Tablo 17 (devam), Tablo 18, Tablo 19, Tablo 19 (devam)'da lineer (uzunluk), oransal ve açısal ölçümler için gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumun mükemmel güvenilirliğe sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 16. Uzunluk ve açısal ölçümlerde gözlemci içi sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi

Ölçümler	Sınıf içi korelasyon katsayısı	Alt 95% Güven Aralığı	Üst 95% Güven Aralığı	P
SVp-SVa	0,982	0,979	0,986	<.001
FiVlp-FiVla	0,995	0,994	0,996	<.001
TVup-TVlp	0,998	0,997	0,998	<.001
TVum-TVd	0,999	0,999	0,999	<.001
TVua-TVla	0,998	0,998	0,998	<.001
FVup-FVlp	0,998	0,998	0,998	<.001
FVum-FVd	0,999	0,999	0,999	<.001
FVua-FVla	0,997	0,997	0,998	<.001
FiVup-FiVlp	0,999	0,999	0,999	<.001
FiVum-FiVd	0,999	0,999	0,999	<.001
FiVua-FiVla	0,995	0,994	0,996	<.001
TVup-TVua	0,991	0,989	0,993	<.001
SVD	0,982	0,978	0,985	<.001
TVD	0,989	0,987	0,991	<.001
FVD	0,991	0,989	0,993	<.001
FiVD	0,987	0,984	0,989	<.001
TVpm-TVam	0,993	0,992	0,995	<.001
TVlp-TVla	0,993	0,992	0,995	<.001
FVup-FVua	0,992	0,99	0,993	<.001
FVpm-FVam	0,995	0,993	0,996	<.001
FVlp-FVla	0,995	0,994	0,996	<.001
FiVup-FiVua	0,994	0,993	0,995	<.001
AH3	0,998	0,998	0,999	<.001
AH4	0,998	0,997	0,998	<.001
AH5	0,996	0,995	0,997	<.001
AÜK3 açısı	0,983	0,979	0,986	<.001
AÜK4 açısı	0,977	0,972	0,981	<.001
AÜK5 açısı	0,98	0,975	0,983	<.001
D3 açısı	0,997	0,997	0,998	<.001
D4 açısı	0,997	0,997	0,998	<.001
D5 açısı	0,997	0,996	0,997	<.001
H3	0,999	0,999	0,999	<.001
H4	0,999	0,999	1	<.001
H5	0,999	0,999	0,999	<.001
K3 açısı	0,996	0,995	0,997	<.001
K4 açısı	0,995	0,994	0,996	<.001
K5 açısı	0,992	0,99	0,994	<.001
LW3	0,992	0,99	0,994	<.001
LW4	0,994	0,993	0,995	<.001
LW5	0,994	0,993	0,995	<.001
PH3	0,997	0,997	0,998	<.001
PH4	0,998	0,997	0,998	<.001
PH5	0,999	0,999	0,999	<.001
UW3	0,992	0,99	0,993	<.001
UW4	0,993	0,992	0,994	<.001
UW5	0,995	0,994	0,996	<.001
X3	0,997	0,997	0,998	<.001
X4	0,997	0,996	0,997	<.001
X5	0,997	0,997	0,998	<.001
Y3	0,997	0,996	0,997	<.001
Y4	0,998	0,998	0,998	<.001
Y5	0,998	0,997	0,998	<.001

Tablo 17. Oransal ölçümlerde gözlemci içi sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi

Ölçümler	Sınıf içi korelasyon katsayısı	Alt 95% Güven Aralığı	Üst 95% Güven Aralığı	P
11 lineer/2 lineer	0,992	0,991	0,994	<.001
11 lineer/3 lineer	0,994	0,993	0,995	<.001
11 lineer/4 lineer	0,996	0,995	0,996	<.001
12 lineer/11 lineer	0,984	0,98	0,986	<.001
12 lineer/13 lineer	0,988	0,985	0,99	<.001
12 lineer/2 lineer	0,995	0,994	0,996	<.001
12 lineer/3 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
12 lineer/4 lineer	0,997	0,996	0,997	<.001
13 lineer/11 lineer	0,987	0,984	0,989	<.001
13 lineer/2 lineer	0,996	0,995	0,996	<.001
13 lineer/4 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
14 lineer/5 lineer	0,993	0,991	0,994	<.001
14 lineer/6 lineer	0,994	0,993	0,995	<.001
14 lineer/7 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
15 lineer/14 lineer	0,984	0,981	0,987	<.001
15 lineer/16 lineer	0,987	0,984	0,989	<.001
15 lineer/5 lineer	0,995	0,994	0,996	<.001
15 lineer/6 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
15 lineer/7 lineer	0,997	0,997	0,998	<.001
16 lineer/14 lineer	0,982	0,978	0,985	<.001
16 lineer/5 lineer	0,995	0,993	0,995	<.001
16 lineer/7 lineer	0,996	0,995	0,996	<.001
17 lineer/10 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
17 lineer/8 lineer	0,994	0,993	0,995	<.001
17 lineer/9 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
18 lineer/10 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
18 lineer/17 lineer	0,987	0,985	0,99	<.001
18 lineer/19 lineer	0,982	0,978	0,985	<.001
18 lineer/8 lineer	0,994	0,993	0,995	<.001
18 lineer/9 lineer	0,995	0,994	0,996	<.001
19 lineer/10 lineer	0,993	0,992	0,994	<.001
19 lineer/17 lineer	0,982	0,979	0,986	<.001
19 lineer/8 lineer	0,992	0,991	0,994	<.001
2 lineer/4 lineer	0,969	0,962	0,974	<.001
20 lineer/1 lineer	0,978	0,973	0,982	<.001
21 lineer/11 lineer	0,988	0,986	0,99	<.001
21 lineer/12 lineer	0,989	0,986	0,991	<.001
21 lineer/13 lineer	0,987	0,985	0,99	<.001
21 lineer/2 lineer	0,988	0,986	0,99	<.001
21 lineer/3 lineer	0,989	0,986	0,991	<.001
21 lineer/4 lineer	0,989	0,986	0,991	<.001
21 lineer/AH3 lineer	0,988	0,985	0,99	<.001
21 lineer/H3 lineer	0,989	0,986	0,991	<.001
21 lineer/PH3 lineer	0,988	0,985	0,99	<.001
22 lineer /AH4 lineer	0,987	0,984	0,989	<.001
22 lineer/14 lineer	0,987	0,984	0,989	<.001
22 lineer/15 lineer	0,989	0,986	0,991	<.001
22 lineer/16 lineer	0,987	0,984	0,989	<.001
22 lineer/5 lineer	0,991	0,989	0,992	<.001
22 lineer/6 lineer	0,99	0,988	0,992	<.001
22 lineer/7 lineer	0,99	0,988	0,992	<.001
22 lineer/H4 lineer	0,987	0,984	0,989	<.001

Tablo 17 (Devam). Oransal ölçümlerde gözlemci içi sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi

Ölçümler	Sınıf içi korelasyon katsayısı	Alt 95% Güven Aralığı	Üst 95% Güven Aralığı	P
22 lineer/PH4 lineer	0,986	0,984	0,989	<.001
23 lineer/10 lineer	0,985	0,982	0,988	<.001
23 lineer/17 lineer	0,982	0,978	0,985	<.001
23 lineer/18 lineer	0,985	0,982	0,988	<.001
23 lineer/19 lineer	0,984	0,98	0,987	<.001
23 lineer/8 lineer	0,986	0,983	0,988	<.001
23 lineer/9 lineer	0,985	0,982	0,988	<.001
23 lineer/AH5 lineer	0,983	0,98	0,986	<.001
23 lineer/H5 lineer	0,983	0,979	0,986	<.001
23 lineer/PH5 lineer	0,982	0,978	0,985	<.001
3 lineer/13 lineer	0,997	0,996	0,997	<.001
3 lineer/2 lineer	0,957	0,947	0,964	<.001
3 lineer/4 lineer	0,956	0,946	0,963	<.001
5 lineer/7 lineer	0,965	0,958	0,971	<.001
6 lineer/16 lineer	0,995	0,994	0,996	<.001
6 lineer/5 lineer	0,947	0,936	0,957	<.001
6 lineer/7 lineer	0,962	0,954	0,969	<.001
8 lineer/10 lineer	0,966	0,958	0,972	<.001
9 lineer/10 lineer	0,949	0,938	0,958	<.001
9 lineer/19 lineer	0,994	0,993	0,995	<.001
9 lineer/8 lineer	0,939	0,927	0,95	<.001
AH3 lineer/LW3 lineer	0,996	0,995	0,996	<.001
AH3 lineer/UW3 lineer	0,997	0,996	0,997	<.001
AH4 lineer/LW4 lineer	0,995	0,994	0,996	<.001
AH4 lineer/UW4 lineer	0,996	0,995	0,996	<.001
AH5 lineer/LW5 lineer	0,993	0,992	0,994	<.001
AH5 lineer/UW5 lineer	0,994	0,993	0,995	<.001
H3 lineer/LW3 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
H3 lineer/UW3 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
H4 lineer/LW4 lineer	0,997	0,996	0,998	<.001
H4 lineer/UW4 lineer	0,997	0,996	0,997	<.001
H5 lineer/LW5 lineer	0,996	0,995	0,996	<.001
H5 lineer/UW5 lineer	0,996	0,995	0,996	<.001
PH3 lineer/LW3 lineer	0,996	0,995	0,996	<.001
PH3 lineer/UW3 lineer	0,992	0,99	0,993	<.001
PH4 lineer/LW4 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
PH4 lineer/UW4 lineer	0,992	0,991	0,994	<.001
PH5 lineer/LW5 lineer	0,996	0,995	0,997	<.001
PH5 lineer/UW5 lineer	0,994	0,993	0,995	<.001

Tablo 18. Uzunluk ve açısal ölçümlerde gözlemciler arası sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi

Ölçümler	Sınıf içi korelasyon katsayısı	Alt 95% Güven Aralığı	Üst 95% Güven Aralığı	P
SVp-SVa	0,973	0,964	0,98	<.001
FiVlp-FiVla	0,989	0,987	0,991	<.001
TVup-TVlp	0,997	0,996	0,998	<.001
TVum-TVld	0,998	0,997	0,998	<.001
TVua-TVla	0,996	0,993	0,997	<.001
FVup-FVlp	0,997	0,997	0,998	<.001
FVum-FVld	0,998	0,998	0,999	<.001
FVua-FVla	0,995	0,99	0,997	<.001
FiVup-FiVlp	0,997	0,996	0,998	<.001
FiVum-FiVld	0,996	0,995	0,997	<.001
FiVua-FiVla	0,99	0,98	0,995	<.001
TVup-TVua	0,986	0,983	0,989	<.001
SVD	0,96	0,949	0,968	<.001
TVD	0,982	0,979	0,986	<.001
FVD	0,986	0,982	0,988	<.001
FiVD	0,977	0,972	0,981	<.001
TVpm-TVam	0,99	0,987	0,992	<.001
TVlp-TVla	0,987	0,983	0,989	<.001
FVup-FVua	0,989	0,986	0,991	<.001
FVpm-FVam	0,99	0,987	0,992	<.001
FVlp-FVla	0,991	0,988	0,994	<.001
FiVup-FiVua	0,991	0,989	0,993	<.001
FiVpm-FiVam	0,992	0,989	0,994	<.001
AH3	0,997	0,995	0,998	<.001
AH4	0,996	0,992	0,997	<.001
AH5	0,992	0,985	0,995	<.001
AÜK3 açısı	0,974	0,968	0,978	<.001
AÜK4 açısı	0,967	0,96	0,973	<.001
AÜK5 açısı	0,961	0,952	0,969	<.001
D3 açısı	0,996	0,994	0,997	<.001
D4 açısı	0,996	0,994	0,997	<.001
D5 açısı	0,993	0,989	0,996	<.001
H3	0,998	0,998	0,998	<.001
H4	0,999	0,999	0,999	<.001
H5	0,997	0,996	0,998	<.001
K3 açısı	0,993	0,99	0,994	<.001
K4 açısı	0,992	0,987	0,994	<.001
K5 açısı	0,985	0,974	0,99	<.001
LW3	0,985	0,981	0,987	<.001
LW4	0,99	0,987	0,993	<.001
LW5	0,989	0,986	0,991	<.001
PH3	0,996	0,995	0,997	<.001
PH4	0,997	0,996	0,998	<.001
PH5	0,997	0,996	0,998	<.001
UW3	0,989	0,986	0,991	<.001
UW4	0,991	0,989	0,993	<.001
UW5	0,992	0,99	0,993	<.001
X3	0,995	0,994	0,996	<.001
X4	0,996	0,994	0,997	<.001
X5	0,995	0,993	0,997	<.001
Y3	0,995	0,994	0,996	<.001
Y4	0,997	0,997	0,998	<.001
Y5	0,996	0,995	0,997	<.001

Tablo 19. Oransal ölçümlerde gözlemciler arası sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi

Ölçümler	ICC	Alt 95% Güven Aralığı	Üst 95% Güven Aralığı	P
11 lineer/2 lineer	0,989	0,985	0,992	<.001
11 lineer/3 lineer	0,993	0,991	0,994	<.001
11 lineer/4 lineer	0,993	0,991	0,994	<.001
12 lineer/11 lineer	0,975	0,969	0,98	<.001
12 lineer/13 lineer	0,975	0,966	0,981	<.001
12 lineer/2 lineer	0,992	0,99	0,994	<.001
12 lineer/3 lineer	0,994	0,992	0,995	<.001
12 lineer/4 lineer	0,993	0,992	0,994	<.001
13 lineer/11 lineer	0,978	0,972	0,982	<.001
13 lineer/2 lineer	0,991	0,985	0,994	<.001
13 lineer/4 lineer	0,993	0,991	0,994	<.001
14 lineer/5 lineer	0,99	0,987	0,993	<.001
14 lineer/6 lineer	0,992	0,991	0,994	<.001
14 lineer/7 lineer	0,994	0,993	0,995	<.001
15 lineer/14 lineer	0,979	0,974	0,983	<.001
15 lineer/16 lineer	0,976	0,962	0,984	<.001
15 lineer/5 lineer	0,992	0,99	0,994	<.001
15 lineer/6 lineer	0,994	0,992	0,995	<.001
15 lineer/7 lineer	0,995	0,994	0,996	<.001
16 lineer/14 lineer	0,972	0,961	0,979	<.001
16 lineer/5 lineer	0,989	0,979	0,994	<.001
16 lineer/7 lineer	0,993	0,991	0,995	<.001
17 lineer/10 lineer	0,992	0,99	0,993	<.001
17 lineer/8 lineer	0,99	0,986	0,993	<.001
17 lineer/9 lineer	0,993	0,991	0,994	<.001
18 lineer/10 lineer	0,99	0,988	0,992	<.001
18 lineer/17 lineer	0,969	0,963	0,975	<.001
18 lineer/19 lineer	0,963	0,946	0,973	<.001
18 lineer/8 lineer	0,989	0,986	0,992	<.001
18 lineer/9 lineer	0,99	0,988	0,992	<.001
19 lineer/10 lineer	0,987	0,981	0,991	<.001
19 lineer/17 lineer	0,964	0,951	0,973	<.001
19 lineer/8 lineer	0,984	0,972	0,99	<.001
2 lineer/4 lineer	0,94	0,924	0,953	<.001
20 lineer/1 lineer	0,954	0,939	0,964	<.001
21 lineer/11 lineer	0,98	0,976	0,983	<.001
21 lineer/12 lineer	0,98	0,976	0,984	<.001
21 lineer/13 lineer	0,978	0,973	0,982	<.001
21 lineer/2 lineer	0,981	0,977	0,984	<.001
21 lineer/3 lineer	0,981	0,977	0,984	<.001
21 lineer/4 lineer	0,982	0,978	0,985	<.001
21 lineer/AH3 lineer	0,978	0,974	0,982	<.001
21 lineer/H3 lineer	0,98	0,975	0,983	<.001
21 lineer/PH3 lineer	0,98	0,975	0,983	<.001
22 lineer /AH4 lineer	0,979	0,974	0,982	<.001
22 lineer/14 lineer	0,979	0,975	0,983	<.001
22 lineer/15 lineer	0,982	0,978	0,985	<.001
22 lineer/16 lineer	0,978	0,973	0,982	<.001
22 lineer/5 lineer	0,985	0,982	0,988	<.001
22 lineer/6 lineer	0,985	0,981	0,987	<.001
22 lineer/7 lineer	0,985	0,981	0,988	<.001
22 lineer/H4 lineer	0,979	0,974	0,983	<.001
22 lineer/PH4 lineer	0,979	0,975	0,983	<.001

Tablo 19 (Devam). Oransal ölçümlerde gözlemciler arası sınıf içi korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi

Ölçümler	ICC	Alt 95% Güven Aralığı	Üst 95% Güven Aralığı	P
23 lineer/10 lineer	0,976	0,97	0,98	<.001
23 lineer/17 lineer	0,967	0,96	0,973	<.001
23 lineer/18 lineer	0,973	0,967	0,978	<.001
23 lineer/19 lineer	0,968	0,961	0,974	<.001
23 lineer/8 lineer	0,976	0,97	0,98	<.001
23 lineer/9 lineer	0,976	0,971	0,98	<.001
23 lineer/AH5 lineer	0,967	0,96	0,973	<.001
23 lineer/H5 lineer	0,968	0,961	0,974	<.001
23 lineer/PH5 lineer	0,967	0,96	0,973	<.001
3 lineer/13 lineer	0,994	0,991	0,995	<.001
3 lineer/2 lineer	0,928	0,909	0,943	<.001
3 lineer/4 lineer	0,93	0,915	0,942	<.001
5 lineer/7 lineer	0,942	0,914	0,959	<.001
6 lineer/16 lineer	0,991	0,989	0,994	<.001
6 lineer/5 lineer	0,902	0,861	0,929	<.001
6 lineer/7 lineer	0,936	0,922	0,947	<.001
8 lineer/10 lineer	0,939	0,924	0,951	<.001
9 lineer/10 lineer	0,913	0,895	0,928	<.001
9 lineer/19 lineer	0,99	0,985	0,993	<.001
9 lineer/8 lineer	0,901	0,871	0,923	<.001
AH3 lineer/LW3 lineer	0,992	0,99	0,993	<.001
AH3 lineer/UW3 lineer	0,994	0,99	0,996	<.001
AH4 lineer/LW4 lineer	0,993	0,991	0,994	<.001
AH4 lineer/UW4 lineer	0,992	0,986	0,995	<.001
AH5 lineer/LW5 lineer	0,987	0,982	0,99	<.001
AH5 lineer/UW5 lineer	0,987	0,978	0,992	<.001
H3 lineer/LW3 lineer	0,992	0,991	0,994	<.001
H3 lineer/UW3 lineer	0,994	0,992	0,995	<.001
H4 lineer/LW4 lineer	0,995	0,994	0,996	<.001
H4 lineer/UW4 lineer	0,995	0,993	0,996	<.001
H5 lineer/LW5 lineer	0,991	0,989	0,993	<.001
H5 lineer/UW5 lineer	0,992	0,989	0,994	<.001
PH3 lineer/LW3 lineer	0,993	0,991	0,994	<.001
PH3 lineer/UW3 lineer	0,988	0,985	0,991	<.001
PH4 lineer/LW4 lineer	0,994	0,993	0,995	<.001
PH4 lineer/UW4 lineer	0,99	0,987	0,992	<.001
PH5 lineer/LW5 lineer	0,992	0,99	0,993	<.001
PH5 lineer/UW5 lineer	0,99	0,987	0,992	<.001

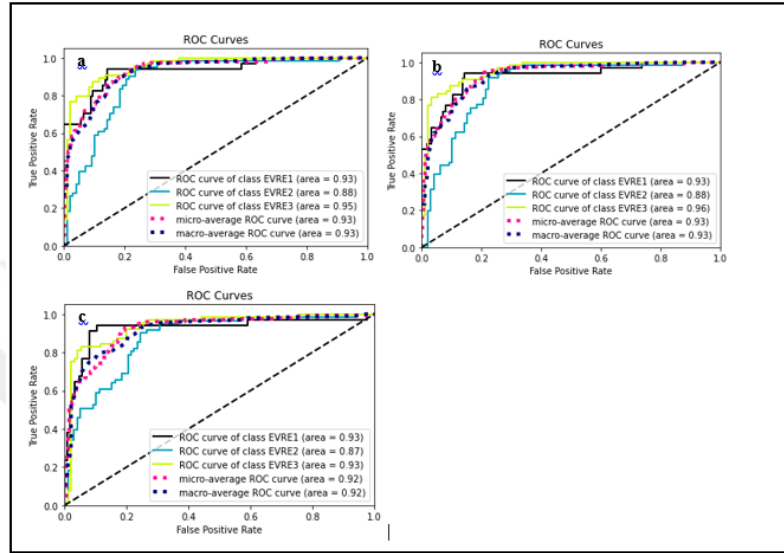
4.1. Çalışma çıktısı 1 bulguları

Yapay zeka algoritmalarının sonuçları Tablo 20/21, ve Şekil 19/20/21/22/23/24'de sunulmaktadır. Tablo 20'de her datasette 3 algoritmanın uygulanması sonucunda elde edilen tahmin sonuçları karışıklık matrisinde verilmiştir. Tablo 20'de bu sonuçların her bir dataset için evrelere ve genele göre elde edilen tahminin doğruluğuna ilişkin performans kriterleri ayrıntılı olarak verilmiştir. Şekil 19/20/21/22/23/24'de her bir datasetine ait tüm evrelerin ROC eğrileri verilmiştir. Çalışma sonuçları tüm bu çıktıların birlikte değerlendirilmesiyle açıklanmıştır.

Tablo 20. Çalışma çıktısı 1 tahminin doğruluğuna ilişkin performans değerleri

		DVM					MLP					GBM				
		Precision	Recall	F1	test veri sayısı	AUC	Precision	Recall	F1	test veri sayısı	AUC	Precision	Recall	F1	test veri sayısı	AUC
Dataset 1	Evre 1	0,74	0,68	0,71	34	0,93	0,74	0,74	0,74	34	0,93	0,79	0,65	0,71	34	0,93
	Evre 2	0,73	0,7	0,72	61	0,88	0,75	0,72	0,73	61	0,88	0,69	0,72	0,7	61	0,87
	Evre 3	0,83	0,89	0,86	64	0,95	0,85	0,88	0,86	64	0,96	0,81	0,84	0,82	64	0,93
	Total			0,77	159				0,79	159				0,75	159	
	macro avg	0,77	0,76	0,76	159	0,93	0,78	0,78	0,78	159	0,93	0,76	0,74	0,75	159	0,92
	weighted avg	0,77	0,77	0,77	159		0,78	0,79	0,79	159		0,76	0,75	0,75	159	
Dataset 2	Evre 1	0,86	0,74	0,79	34	0,94	0,96	0,71	0,81	34	0,94	0,9	0,76	0,83	34	0,93
	Evre 2	0,72	0,72	0,72	61	0,87	0,77	0,8	0,78	61	0,9	0,76	0,79	0,77	61	0,89
	Evre 3	0,78	0,84	0,81	64	0,94	0,81	0,89	0,85	64	0,96	0,82	0,86	0,84	64	0,95
	Total			0,77	159				0,82	159				0,81	159	
	macro avg	0,79	0,77	0,78	159	0,92	0,85	0,8	0,82	159	0,94	0,83	0,8	0,81	159	0,93
	weighted avg	0,78	0,77	0,77	159		0,83	0,82	0,82	159		0,81	0,81	0,81	159	
Dataset 3	Evre 1	0,83	0,71	0,76	34	0,95	0,96	0,71	0,81	34	0,95	0,9	0,76	0,83	34	0,94
	Evre 2	0,75	0,77	0,76	61	0,92	0,75	0,87	0,8	61	0,92	0,77	0,77	0,77	61	0,91
	Evre 3	0,82	0,86	0,84	64	0,97	0,86	0,84	0,85	64	0,96	0,81	0,88	0,84	64	0,94
	Total			0,79	159				0,82	159				0,81	159	
	macro avg	0,8	0,78	0,79	159	0,95	0,85	0,81	0,82	159	0,95	0,83	0,8	0,81	159	0,94
	weighted avg	0,79	0,79	0,79	159		0,84	0,82	0,82	159		0,81	0,81	0,81	159	
Dataset 4	Evre 1	0,77	0,71	0,74	34	0,92	0,6	0,74	0,66	34	0,91	0,74	0,68	0,71	34	0,9
	Evre 2	0,69	0,67	0,68	61	0,83	0,62	0,61	0,61	61	0,8	0,64	0,62	0,63	61	0,83
	Evre 3	0,78	0,84	0,81	64	0,93	0,86	0,77	0,81	64	0,94	0,75	0,81	0,78	64	0,9
	Total			0,75	159				0,7	159				0,71	159	
	macro avg	0,75	0,74	0,74	159	0,9	0,69	0,7	0,69	159	0,89	0,71	0,7	0,71	159	0,88
	weighted avg	0,75	0,75	0,75	159		0,71	0,7	0,7	159		0,71	0,71	0,71	159	
Dataset 5	Evre 1	0,76	0,74	0,75	34	0,93	0,71	0,71	0,71	34	0,92	0,73	0,71	0,72	34	0,9
	Evre 2	0,7	0,66	0,68	61	0,83	0,65	0,67	0,66	61	0,83	0,64	0,59	0,62	61	0,82
	Evre 3	0,78	0,84	0,81	64	0,93	0,81	0,78	0,79	64	0,94	0,74	0,81	0,78	64	0,9
	Total			0,75	159				0,72	159				0,7	159	
	macro avg	0,75	0,74	0,75	159	0,9	0,72	0,72	0,72	159	0,9	0,7	0,7	0,7	159	0,88
	weighted avg	0,75	0,75	0,75	159		0,73	0,72	0,72	159		0,7	0,7	0,7	159	
Dataset 6	Evre 1	0,92	0,71	0,8	34	0,96	0,96	0,74	0,83	34	0,94	0,86	0,74	0,79	34	0,93
	Evre 2	0,78	0,82	0,8	61	0,92	0,79	0,79	0,79	61	0,91	0,75	0,77	0,76	61	0,88
	Evre 3	0,84	0,91	0,87	64	0,97	0,81	0,91	0,85	64	0,97	0,82	0,86	0,84	64	0,93
	Total			0,83	159				0,82	159				0,8	159	
	macro avg	0,85	0,81	0,82	159	0,95	0,85	0,81	0,82	159	0,94	0,81	0,79	0,8	159	0,92
	weighted avg	0,84	0,83	0,83	159		0,83	0,82	0,82	159		0,8	0,8	0,8	159	

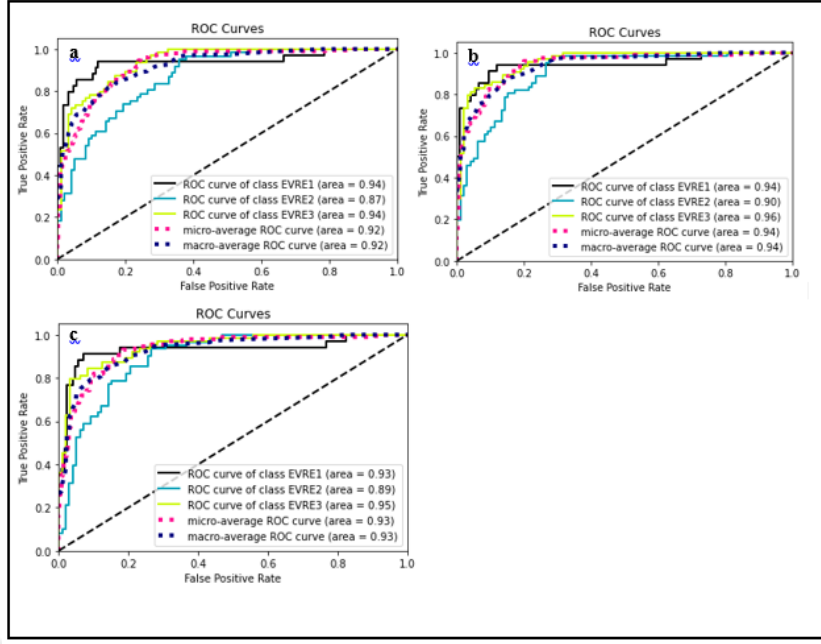
Dataset 1’de uygulanan makine öğrenmesi yöntemlerinin sonuçları incelendiğinde en yüksek total F1 skoru MLP’de elde edilmiştir. Bütün algoritmalar evre 3’ü tahminlemede, evre 1 ve evre 2’ye göre daha yüksek başarı göstermiştir. Evre 1 ve evre 2 karşılaştırıldığında MLP ve GBM evre 1’i tahminlemede daha başarılı iken, DVM evre 2’yi tahminlemede daha başarılı bulunmuştur (Tablo 20, şekil 19).



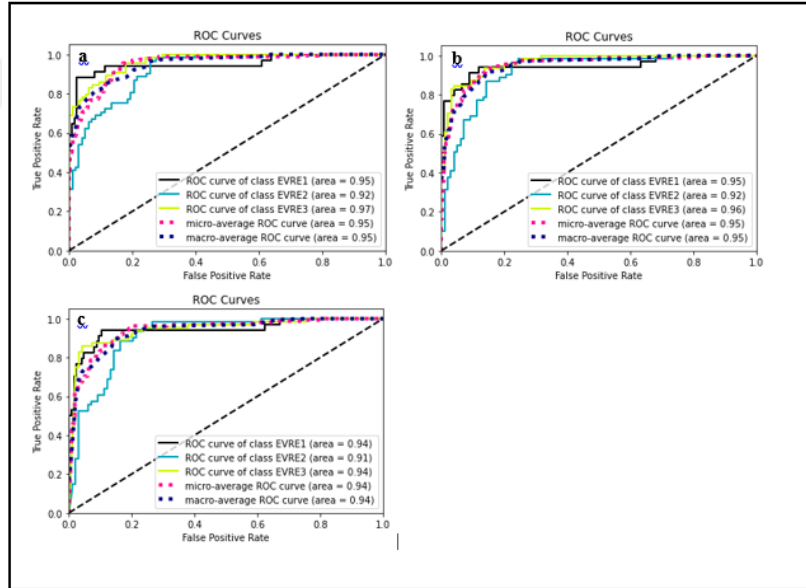
Şekil 19. Dataset 1'e ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)

Dataset 2’de uygulanan makine öğrenmesi yöntemlerinin sonuçları incelendiğinde en yüksek total F1 skoru MLP’de elde edilmiştir. Bütün algoritmalar evre 3’ü tahminlemede, evre 1 ve evre 2’ye göre daha yüksek başarı göstermiştir. Evre 1 ve evre 2 karşılaştırıldığında bütün algoritmalar evre 1’i tahminlemede daha başarılı bulunmuştur (Tablo 20, Tablo 21).

Dataset 3’te uygulanan makine öğrenmesi yöntemlerinin sonuçları incelendiğinde en yüksek total F1 skoru MLP’de elde edilmiştir. Bütün algoritmalar evre 3’ü tahminlemede, evre 1 ve evre 2’ye göre daha yüksek başarı göstermiştir. Evre 1 ve evre 2 karşılaştırıldığında MLP ve GBM evre 1’i tahminlemede daha başarılı bulunurken, DVM’ de evre 1 ve evre 2’nin başarı oranları aynı bulunmuştur (Tablo 20, Tablo 21).

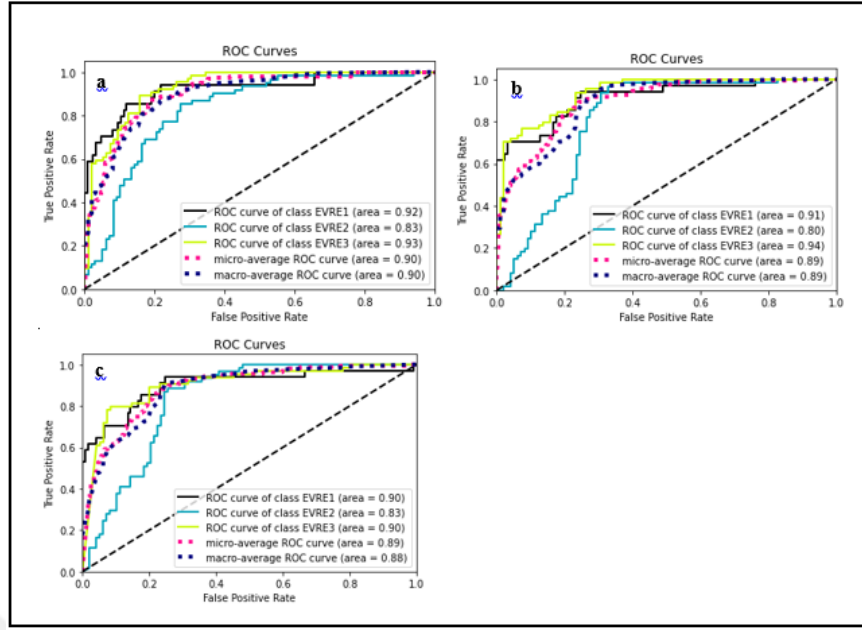


Şekil 20. Dataset 2'ye ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)



Şekil 21. Dataset 3'e ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)

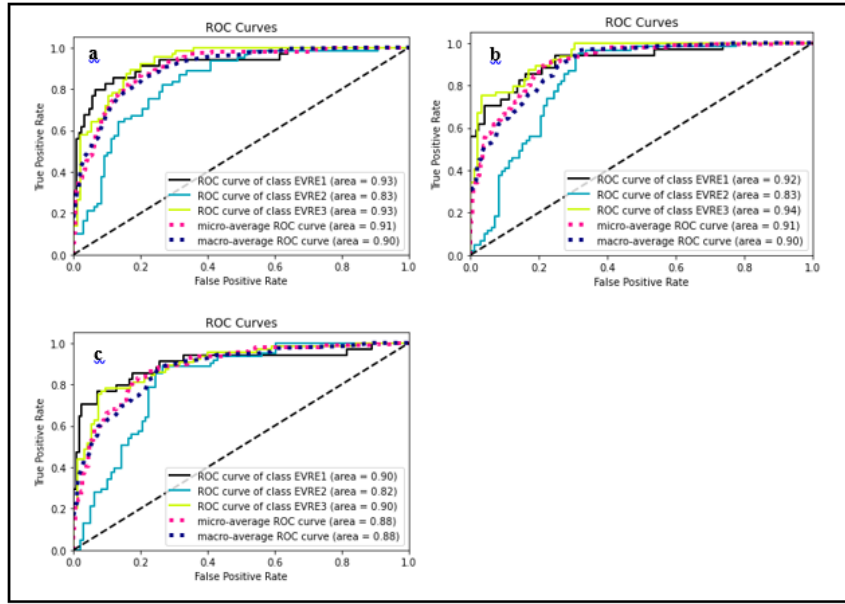
Dataset 4'te uygulanan makine öğrenmesi yöntemlerinin sonuçları incelendiğinde en yüksek total F1 skoru DVM'de elde edilmiştir. Bütün algoritmalar evreler bazında değerlendirildiğinde başarı sıralaması evre 3, evre 1 ve evre 2'yi takip etmiştir (Tablo 20, Tablo 21).



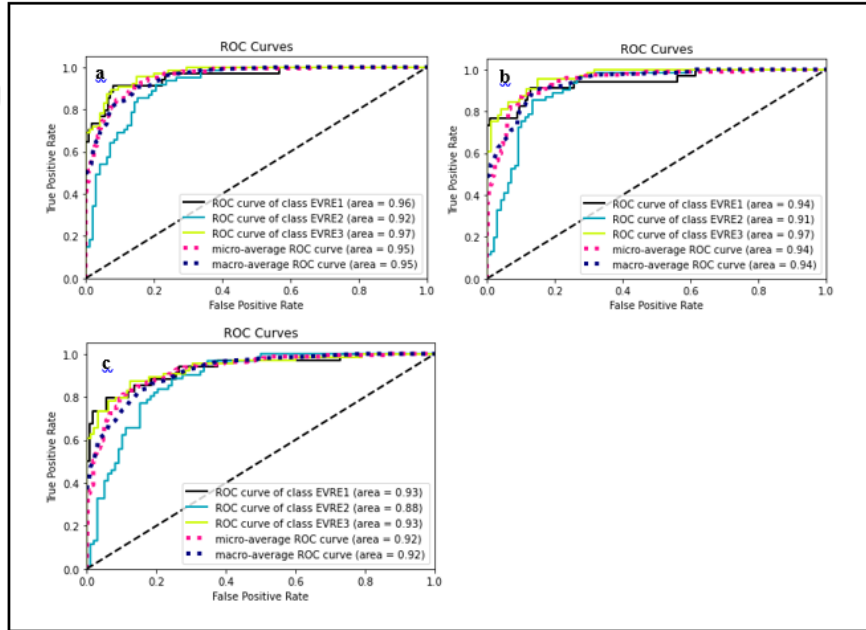
Şekil 22. Dataset 4'e ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)

Dataset 5'te uygulanan makine öğrenmesi yöntemlerinin sonuçları incelendiğinde en yüksek total F1 skoru DVM'de elde edilmiştir. Bütün algoritmalar evre 3'ü tahminlemede, evre 1 ve evre 2'ye göre daha yüksek başarı göstermiştir. Bütün algoritmalar evreler bazında değerlendirildiğinde başarı sıralaması evre 3, evre 1 ve evre 2'yi takip etmiştir (Tablo 20, Tablo 21).

Dataset 6'da uygulanan makine öğrenmesi yöntemlerinin sonuçları incelendiğinde en yüksek total F1 skoru DVM'de elde edilmiştir. Bütün algoritmalar evre 3'ü tahminlemede, evre 1 ve evre 2'ye göre daha yüksek başarı göstermiştir. Evre 1 ve evre 2 karşılaştırıldığında MLP ve GBM evre 1'i tahminlemede daha başarılı bulunurken, DVM' de evre 1 ve evre 2'nin başarı oranları aynı bulunmuştur (Tablo 20, Tablo 21).



Şekil 23. Dataset 5'e ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)



Şekil 24. Dataset 6'ya ait ROC eğrileri (a: SVM algoritmasına ait ROC eğrisi, b: MLP algoritmasına ait ROC eğrisi, c: GBM algoritmasına ait ROC eğrisi)

Tablo 21. Çalışma çıktısı 2 tüm datasetlerde karışıklık matris sonuçları

	Gerçek Tahmin edilen	SVM			MLP			GBM		
		Evre 1	Evre 2	Evre 3	Evre 1	Evre 2	Evre 3	Evre 1	Evre 2	Evre 3
Dataset 1	Evre 1	23	9	2	25	7	2	22	10	2
	Evre 2	8	43	10	9	44	8	6	44	11
	Evre 3	0	7	57	0	8	56	0	10	54
Dataset 2	Evre 1	25	7	2	24	8	2	26	6	2
	Evre 2	4	44	13	1	49	11	3	48	10
	Evre 3	0	10	54	0	7	57	0	9	55
Dataset 3	Evre 1	24	8	2	24	8	2	26	6	2
	Evre 2	4	47	10	1	53	7	3	47	11
	Evre 3	1	8	55	0	10	54	0	8	56
Dataset 4	Evre 1	24	8	2	25	8	1	23	9	2
	Evre 2	7	41	13	17	37	7	8	38	15
	Evre 3	0	10	54	0	15	49	0	12	52
Dataset 5	Evre 1	25	7	2	24	8	2	24	8	2
	Evre 2	8	40	13	10	41	10	9	36	16
	Evre 3	0	10	54	0	14	50	0	12	52
Dataset 6	Evre 1	24	8	2	25	7	2	25	7	2
	Evre 2	2	50	9	1	48	12	4	47	10
	Evre 3	0	6	58	0	6	58	0	9	55

4.2. Çalışma çıktısı 2 bulguları

Çalışma çıktısı 2 kısmının bulguları sırasıyla ham veri erkek, ham veri kız, türetilmiş veri erkek, türetilmiş veri kız datasetlerinin her birinde detaylı olarak aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir.

4.2.1. Çalışma çıktısı 2 ham veri erkek datasetine (dataset 1) ait bulgular

Tablo 22. Ham veri erkek datasetine ait tanımlayıcı istatistikler

Parametre	n	Ortalama	S. sapma	Ortanca	Minimum	Maksimum	Basıklık	Çarpıklık
İskelet yaşı	329	12,860	3,065	13,000	5,000	19,000	0,066	-0,287
SVp-SVa	329	13,194	1,494	13,085	9,480	21,130	2,136	0,614
TVup-TVua	329	13,080	1,582	13,021	8,330	17,730	-0,070	0,102
TVpm-TVam	329	13,783	1,558	13,766	9,390	18,010	0,118	0,142
TVlp-TVla	329	13,922	1,395	13,919	10,110	17,980	-0,039	0,062
FVup-FVua	329	13,461	1,737	13,345	9,100	18,560	-0,066	0,151
FVpm-FVam	329	13,700	1,676	13,641	9,220	19,730	0,372	0,213
FVlp-FVla	329	13,962	1,678	13,922	8,610	21,200	0,938	0,253
FiVup-FiVua	329	13,611	2,020	13,482	9,260	26,600	4,453	0,920
FiVpm-FiVam	329	13,824	1,896	13,572	9,420	27,740	8,161	1,377
FiVlp-FiVla	329	14,419	1,897	14,189	9,130	25,310	2,788	0,793
TVup-TVlp	329	10,776	2,535	10,725	5,050	17,100	-0,695	0,145
TVum-TVd	329	9,449	2,182	9,175	4,860	16,220	-0,556	0,306
TVua-TVla	329	9,048	2,646	8,347	4,130	17,780	-0,216	0,709
FVup-FVlp	329	10,577	2,436	10,663	5,200	18,030	-0,400	0,164
FVum-FVd	329	9,218	1,944	9,147	5,650	15,930	-0,373	0,420
FVua-FVla	329	8,475	2,245	7,991	4,280	16,630	0,128	0,766
FiVup-FiVlp	329	10,409	2,430	10,193	5,080	16,990	-0,630	0,205
FiVum-FiVd	329	9,265	1,905	9,037	5,690	15,880	-0,089	0,457
FiVua-FiVla	329	8,295	2,090	7,895	4,240	15,770	0,193	0,715
SVD	329	1,156	0,679	1,081	0,060	3,850	0,227	0,615
TVD	329	0,922	0,676	0,752	0,010	3,840	1,084	1,069
FVD	329	0,775	0,620	0,603	0,000	3,150	0,660	1,024
FiVD	329	0,749	0,584	0,582	0,000	2,760	0,700	1,074
X3	329	18,745	2,613	18,677	13,390	26,390	-0,436	0,205
Y3	329	14,516	2,102	14,322	9,460	20,610	-0,443	0,218
X4	329	18,431	2,572	18,328	11,730	26,180	-0,363	0,157
Y4	329	14,754	2,207	14,517	9,800	21,870	-0,264	0,354
X5	329	18,338	2,687	18,244	12,720	30,600	0,512	0,423
Y5	329	15,175	2,418	14,931	10,630	30,590	4,088	1,006
D3 açısı	329	109,216	12,094	110,055	78,060	133,840	-0,342	-0,381
D4 açısı	329	111,711	10,587	112,121	77,110	134,700	0,043	-0,396
D5 açısı	329	113,680	9,955	114,834	84,140	138,140	0,046	-0,396
K3 açısı	329	36,442	8,229	35,203	18,410	62,770	0,253	0,667
K4 açısı	329	33,833	6,612	33,059	18,130	55,840	0,579	0,725
K5 açısı	329	32,160	6,121	31,376	17,840	52,020	0,619	0,610
AÜK3 açısı	329	8,652	5,285	8,955	-17,240	22,290	1,770	-0,601
AÜK4 açısı	329	9,554	4,865	9,724	-2,680	22,500	-0,172	-0,086
AÜK5 açısı	329	9,469	4,814	9,856	-9,320	22,220	0,458	-0,245
PH3	329	10,643	2,489	10,641	4,970	16,850	-0,710	0,132
H3	329	10,117	2,568	9,631	5,460	16,670	-0,812	0,362
AH3	329	8,667	2,622	7,897	3,970	16,810	-0,373	0,668
PH4	329	10,487	2,421	10,573	5,170	17,850	-0,413	0,158
H4	329	9,730	2,345	9,383	5,380	17,080	-0,569	0,439
AH4	329	8,243	2,246	7,682	4,120	16,220	0,042	0,756
PH5	329	10,35	2,418	10,123	5,06	16,99	-0,624	0,213
H5	329	9,692	2,238	9,315	5,69	17,18	-0,445	0,427
AH5	329	8,084	2,107	7,672	4,24	15,74	0,151	0,709
UW3	329	12,496	1,45	12,482	7,88	16,8	0,055	0,11
LW3	329	13,756	1,404	13,747	10	17,77	-0,088	0,074
UW4	329	12,902	1,658	12,78	8,72	18,02	-0,083	0,23
LW4	329	13,844	1,689	13,804	8,6	20,9	0,812	0,238
UW5	329	13,189	1,943	13,025	9,15	26,56	6,068	1,151
LW5	329	14,343	1,92	14,111	7,61	25,3	2,919	0,708

Erkeklerin iskelet yaşı ortalaması 12,86, minimum değer 5 ve maksimum değer 19 olarak elde edilmiştir. Basıklık ve çarpıklık değeri 0,07 ve -0,29 olarak elde edilmiş olup normal dağılıma uygunluk göstermektedir. Her bir bağımsız değişkenlere ait ortalama, s. sapma, ortanca, minimum, maksimum, basıklık ve çarpıklık değerleri Tablo 22’de sunulmuştur.

Çalışmamızda kullandığımız ölçümlerin şekillerde daha kolay gösterilmesi için her birisi için kod adı oluşturulmuştur. Oluşturulan kod adı ve gerçek isimlendirmeler Tablo 23’te verilmiştir.

Tablo 23. Ham veri parametreleri ve kod adları

Kod adı	Gerçek isimlendirme	Kod adı	Gerçek isimlendirme
B1	SVp-SVa	B23	FiVD
B2	TVup-TVua	B24	X3
B3	TVpm-TVam	B25	Y3
B4	TVlp-TVla	B26	X4
B5	FVup-FVua	B27	Y4
B6	FVpm-FVam	B28	X5
B7	FVlp-FVla	B29	Y5
B8	FiVup-FiVua	B30	D3 açısı
B9	FiVpm-FiVam	B31	D4 açısı
B10	FiVlp-FiVla	B32	D5 açısı
B11	TVup-TVlp	B33	K3 açısı
B12	TVum-TVd	B34	K4 açısı
B13	TVua-TVla	B35	K5 açısı
B14	FVup-FVlp	B36	AÜK3 açısı
B15	FVum-FVd	B37	AÜK4 açısı
B16	FVua-FVla	B38	AÜK5 açısı
B17	FiVup-FiVlp	B39	PH3
B18	FiVum-FiVd	B40	H3
B19	FiVua-FiVla	B41	AH3
B20	SVD	B42	PH4
B21	TVD	B43	H4
B22	FVD	B44	AH4
B45	PH5	B50	UW4
B46	H5	B51	LW4
B47	AH5	B52	UW5
B48	UW3	B53	LW5
B49	LW3		

Tablo 24. Ham veri erkek datasetine ait doğrusallık istatistikleri

Ölçümler	Erkek		Ölçümler	Erkek	
	Tolerance	VIF		Tolerance	VIF
FVup-FVlp	0	26202,8	K4 açısı	0,001	1527,84
AH3	0	3996,27	K5 açısı	0,001	917,457
AH4	0	3782,6	LW3	0,002	578,674
AH5	0	2757,9	LW4	0,001	1185,02
AÜK3 açısı	0,003	324,895	LW5	0,001	1133,61
AÜK4 açısı	0,004	226,826	PH3	0	18165,8
AÜK5 açısı	0,008	133,063	PH4	0,001	1125,44
D3 açısı	0	2681,55	PH5	0,001	1018,7
D4 açısı	0	2017,23	SVD	0,353	2,835
D5 açısı	0,001	1416,93	SVp-SVa	0,311	3,216
FiVD	0,184	5,429	TVd	0,091	10,972
FiVlp-FiVla	0,001	1481,23	TVlp-TVla	0,002	635,172
FiVpm-FiVam	0,046	21,886	TVpm-TVam	0,058	17,144
FiVua-FiVla	0	2072,05	TVua-TVla	0	3760,9
FiVum-FiVd	0,026	37,796	TVum-TVd	0,014	71,786
FiVup-FiVlp	0	10946,8	TVup-TVlp	0,001	1308,24
FiVup-FiVua	0,001	670,271	TVup-TVua	0,001	731,716
FVD	0,137	7,278	UW3	0,002	504,403
FVlp-FVla	0,001	1441,84	UW4	0,001	952,503
FVpm-FVam	0,049	20,232	UW5	0,001	685,526
FVua-FVla	0	3653,2	X3	0,001	1729,68
FVum-FVd	0,019	51,932	X4	0,001	1753,84
FVup-FVua	0,001	1114,8	X5	0,001	1302,94
H3	0,007	144,1	Y3	0,002	492,202
H4	0,01	103,722	Y4	0,001	682,317
H5	0,013	75,204	Y5	0,002	572,438
K3 açısı	0	2676,69			

Bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantı probleminin olup olmadığının tespiti için bakılan VIF değerlerinin 10 üzerinde olmaması gerekir. Eğer elde edilen VIF değerleri 10 ve üzeri ise bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantı probleminin olduğunu göstermektedir (Tablo 24). Çoklu bağlantı probleminin belirlenmesinde diğer bir yöntem ise tolerans değeridir ve tolerans değerinin de 0,2 üzerinde olması gerekmektedir. VIF değerleri 10 üzerinde olan bağımsız değişkenler koyu punto ile gösterilmiştir(105, 106).

Çoklu bağlantı problemi, bir veya daha fazla bağımsız değişkenin diğer bağımsız değişkenlerle yüksek bir korelasyona sahip olduğu durumlarda, çoklu doğrusal regresyon modellerinde ortaya çıkan bir sorundur. Bu durumda, bağımsız değişkenler arasında yüksek bir ilişki olduğu için, her bir bağımsız değişkenin etkisi net bir şekilde belirlenemez ve doğru bir sonuç elde edilemez. Bu nedenle, çoklu bağlantı probleminden dolayı, modele dahil edilen bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi azaltmak için elastik net regresyon, ridge regresyon ve lasso regresyon yöntemleri kullanılacaktır(100, 102)



Tablo 25. Ham veri erkek datasetinde Ridge, Lasso ve Elastik Net model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

	Ridge	Lasso	Elastik net
Lambda	0,809	0,000398	0,000027
SVp-SVa	-0,010	0,000	-0,005
TVup-TVua	0,040	0,032	0,039
TVpm-TVam	-0,001	0,000	0,003
TVlp-TVla	0,024	0,000	0,023
FVup-FVua	0,015	0,001	0,017
FVpm-FVam	0,028	0,014	0,027
FVlp-FVla	0,012	0,000	0,012
FiVup-FiVua	0,018	0,000	0,018
FiVpm-FiVam	0,000	0,000	0,000
FiVlp-FiVla	-0,006	0,000	-0,002
TVup-TVlp	0,045	0,072	0,043
TVum-TVd	0,047	0,057	0,045
TVua-TVla	0,025	0,014	0,025
FVup-FVlp	0,038	0,061	0,037
FVum-FVd	0,023	0,008	0,025
FVua-FVla	0,030	0,014	0,031
FiVup-FiVlp	0,035	0,051	0,033
FiVum-FiVd	0,012	0,000	0,016
FiVua-FiVla	0,025	0,008	0,026
SVD	0,234	0,307	0,215
TVD	0,103	0,060	0,107
FVD	0,146	0,123	0,144
FiVD	0,183	0,178	0,178
X3	0,023	0,032	0,024
Y3	0,052	0,072	0,048
X4	0,021	0,030	0,022
Y4	0,029	0,027	0,028
X5	0,019	0,022	0,019
Y5	0,017	0,007	0,018
D3 açısı	-0,01	-0,012	-0,01
D4 açısı	-0,012	-0,014	-0,012
D5 açısı	-0,011	-0,012	-0,011
K3 açısı	0,008	0	0,008
K4 açısı	0,013	0,003	0,013
K5 açısı	0,011	0	0,011
AÜK3 açısı	0,012	0	0,011
AÜK4 açısı	0,013	0	0,013
AÜK5 açısı	0,02	0,011	0,019
PH3	0,047	0,07	0,045
H3	0,039	0,048	0,036
AH3	0,03	0,021	0,029
PH4	0,039	0,052	0,038
H4	0,031	0,032	0,031
AH4	0,034	0,033	0,034
PH5	0,035	0,043	0,034
H5	0,033	0,037	0,032
AH5	0,029	0,017	0,029
UW3	0,049	0,046	0,047
LW3	0,025	0	0,023
UW4	0,023	0,014	0,023
LW4	0,015	0,001	0,015
UW5	0,018	0,001	0,018
LW5	-0,006	0	-0,002
LW5	-0,006	0	-0,002
c	2,869	5,309	2,756
df	53	53	53
L1 Norm	4,693	6,964	4,53
R-squared	0,801	0,801	0,8
AIC	0,521	0,522	0,522

Lambda değeri seçiminde minimum ortalama hata değerleri dikkate alınmıştır (Tablo 25). Ridge modelde en minimum ortalama hata karesi 0,809 lambda değerinde elde edilmiştir. R^2 değerleri determinasyon katsayısıdır ve modeldeki bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkeninin yüzde kaçlık kısmını açıklandığını göstermektedir (Tablo 25). AIC (Akaike Bilgi Kriteri), bir regresyon modelinin performansını ölçmek için kullanılan bir bilgi kriteridir. AIC, modelin uygunluğunu ve karmaşıklığını birleştirir ve modelin doğru bir şekilde genelleştirilmesine yardımcı olan en uygun modeli seçmek için kullanılabilir. Regresyon sonucunda AIC değeri, modelin uygunluğunun ve karmaşıklığının bir ölçüsüdür. Daha küçük bir AIC değeri, modelin daha uygun olduğunu ve veri setine daha iyi uyduğunu gösterir. Farklı modeller için AIC değerlerinin karşılaştırılması, en uygun modelin belirlenmesine yardımcı olur. Ancak, tek başına AIC değeri, bir modelin kesin olarak en iyi model olduğunu garanti etmez ve diğer kriterler (örneğin, R-kare, MSE, vb.) de dikkate alınmalıdır. L1norm, regresyon katsayılarının mutlak değerlerinin toplamını ifade eder. Genel itibariyle en iyi model sonuç seçimini minimum ortalama hata karesine göre algoritma kendisi yapmaktadır. En düşük minimum ortalama hata karesi 0,809 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait determinasyon katsayısı 0,801, L1Norm değeri 4,693 ve AIC değeri ise 0,521 olarak elde edilmiştir.

Lasso model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,000398 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 6,964 ve determinasyon katsayısı 0,801 olarak elde edilmiştir. Lasso modelinde temel amaç modelde yer alan bağımsız değişkenler içerisinde bağımlı değişkene etkisi olmayan değişkenlerin katsayılarını sıfıra yanaştırmaktır. Modelde 53 bağımsız değişkenin tamamı yer almakta iken beta katsayısı 0 olan bazı bağımsız değişkenlerin iskelet yaşı üzerinde etkisi yok denilecek kadar azdır.

Elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,000027 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 4,530 ve determinasyon katsayısı 0,800 olarak elde edilmiştir. Modelde 53 bağımsız değişkenin tamamı yer almaktadır.

Tablo 26. Ham veri erkek dataseti model sonuçlarına ait hata sonuçları

Model	Lambda	TestSet Means	TrainSet Means	TestSet Errors	TrainSet Errors
Ridge	0,809	2,016	1,849	0,159	0,017
Lasso	0,000398	2,048	1,849	0,164	0,016
Elastik net	0,000027	2,018	1,847	0,159	0,017

Çapraz doğrulama (cross-validation), bir makine öğrenimi modelinin performansını değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde veri seti, birkaç parçaya ayrılır ve her bir parça ayrı ayrı test veri seti olarak kullanılırken geri kalan veri seti eğitim veri seti olarak kullanılır. Bu işlem birkaç kez tekrar edilir ve her seferinde farklı bir parça test veri seti olarak seçilir. Sonuçta elde edilen test hatalarının ortalaması, modelin performansını tahmin etmek için kullanılır. K-fold çapraz doğrulama yöntemi, en yaygın kullanılan çapraz doğrulama yöntemidir. Bu yöntemde veri seti, k sayısına bölünür ve her bir parça ayrı ayrı test veri seti olarak kullanılırken geri kalan veri seti eğitim veri seti olarak kullanılır. Bu işlem k kez tekrar edilir ve her bir kez elde edilen test hatalarının ortalaması, modelin performansını tahmin etmek için kullanılır. K-fold çapraz doğrulama yöntemi, aynı zamanda veri setindeki örneklerin tamamının modelin eğitiminde kullanılmasını sağlar. Ridge, elastik net ve lasso regresyon modellerinin performansını değerlendirmek için de k çaprazlama yöntemi kullanılmıştır ve k katsayısı 10 olarak alınmıştır.

K çapraz doğrulama sonrasında hem eğitim hem de test veri seti için ortalama hata (mean error) değerleri hesaplanır. Bu ortalama hata, tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden ne kadar sapma gösterdiğini ifade eder. Yani, tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden ne kadar uzaklaştığına dair bir ölçüdür. Daha düşük bir ortalama hata değeri, daha iyi bir uyum ve daha doğru tahminler anlamına gelir.

Diğer hesaplanan bir değer ise Standart hata (standard error) değeridir, standart hata değeri tahmin edilen değerlerin gerçek değerlere göre ne kadar değişkenlik gösterdiğini ifade eder. Daha düşük bir standart hata değeri, tahmin edilen değerlerin gerçek değerlere göre daha az değişkenlik gösterdiği anlamına gelir. Yani, daha düşük bir standart hata değeri, tahminlerin daha güvenilir olduğunu gösterir.

Tablo 26’da model sonuçlarında lambda değerine karşılık gelen ortalama hata değerleri hesaplanmıştır ve ridge modeline ait minimum hata 0,809 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,016,

eğitim veri setine ait hata ortalaması 1,849, test veri setine ait standart hata değeri 0,159 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,017 olarak elde edilmiştir. Lasso model sonucunda ise ortalama minimum hata 0,000398 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,048, eğitim veri setine ait hata ortalaması 1,849, test veri setine ait standart hata değeri 0,164 ve eğitim veri setine ait s. hata değeri 0,016 olarak elde edilmiştir. Elastik model sonucunda ortalama minimum hata 0,000027 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,018, eğitim veri setine ait hata ortalaması 1,847, test veri setine ait standart hata değeri 0,159 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,017 olarak elde edilmiştir.

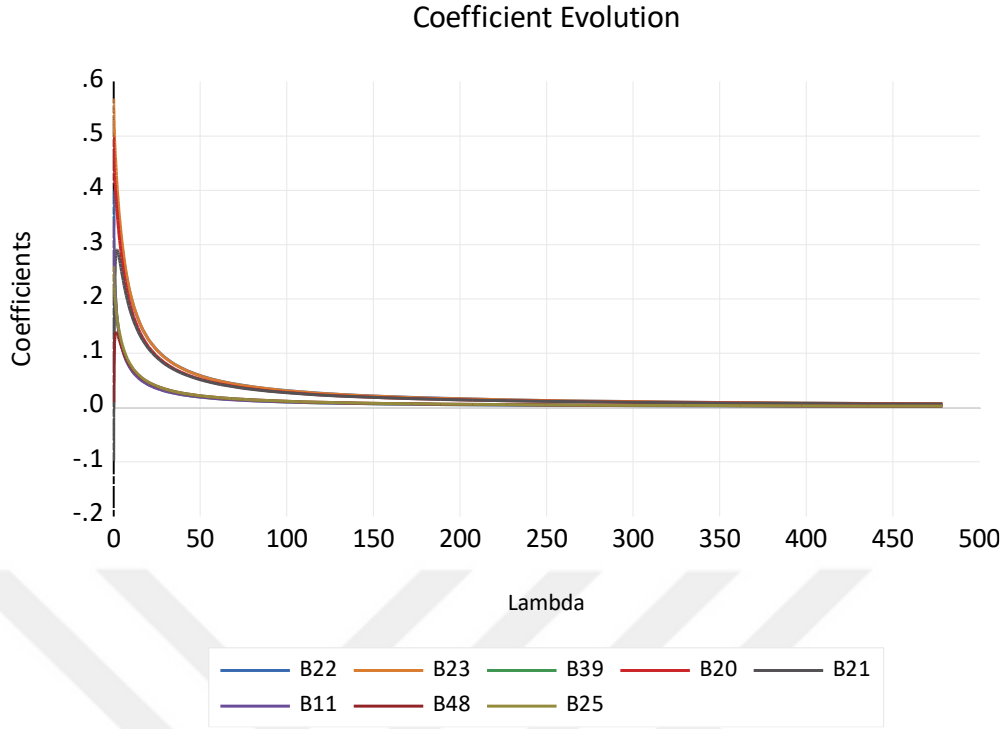
Sefalometrik radyografilerde yaptığımız sefalometrik ölçümlerden servikal vertebra iskelet yaşı elde edilirken ilk aşamada ham veri erkek datasetinden iskelet yaşı elde edilmesinde kullanılabilecek en etkili parametrelerin seçimi için Tablo 25’de her bir regresyon modelinin katsayıları değerlendirilmiştir. Her bir regresyon modelinde en yüksek katsayılara sahip 8’er tane parametre seçilmiştir. İkincil analiz için seçilen 24 parametrenin eliminasyonu için; her üç regresyon modelinde ortak olarak en yüksek katsayıya sahip ilk üç parametreye (SVD, FiVD, FVD) ek olarak her üç modelde ortak olan (PH3, TVD, TVUp-TVlp, Y3) parametreler ve Elastik Net ve Ridge regresyon modellerinde ortak olan UW3 parametresi seçilmiştir. Sonuç olarak ikincil analiz için parametreler; FiVD, FVD, PH3, SVD, TVD, TVUp-TVlp, UW3 ve Y3 olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada ham veri erkek datasetinde belirlenen bu 8 parametre üzerinden servikal vertebra iskelet yaşı elde edilmiştir.

Tablo 27. Ham veri erkek datasetinde Ridge, Lasso ve Elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

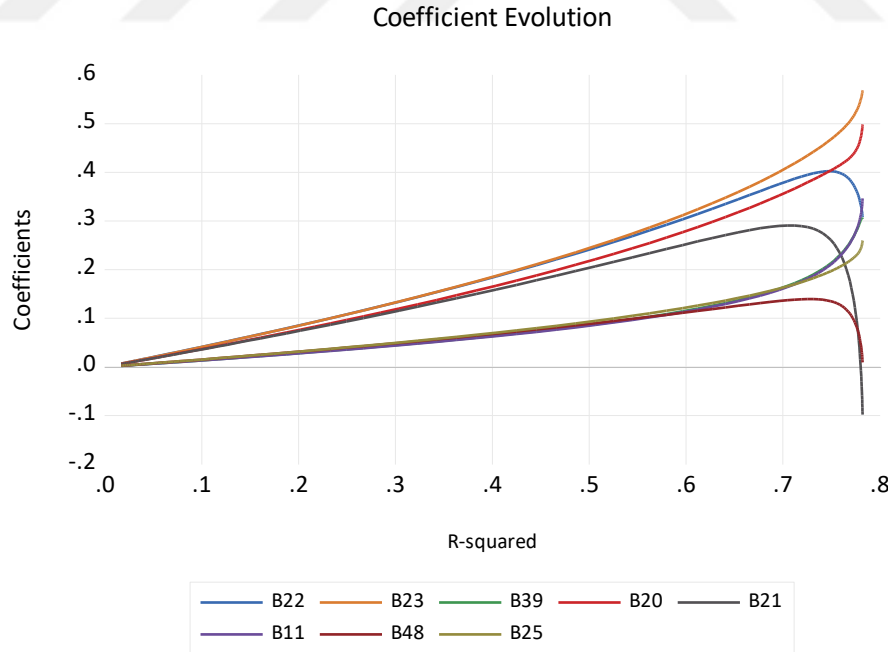
	Ridge	Lasso	Elastik net
Lambda	0,076210	0,000148	0,002344
FVD	0,318	0,185	0,323
FiVD	0,561	0,534	0,564
PH3	0,307	0,019	0,306
SVD	0,487	0,448	0,483
TVD	-0,059	0,000	-0,048
TVup-TVlp	0,330	0,647	0,326
UW3	0,025	0,000	0,031
Y3	0,252	0,259	0,249
C	0,889	0,868	0,906
df	8	6	8
L1 Norm	3,229	2,959	3,236
R-squared	0,782	0,783	0,781
AIC	0,267	0,254	0,267

Ridge regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,07621 lambda değerinde elde edilmiştir (Şekil 25, Tablo 27). Modelde 8 bağımsız değişkeninin tamamı yer almakta olup bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %78,17 oranında açıklanmaktadır (Şekil 26, Tablo 27). L1 norm değeri 3,229 ve AIC (Akaike Bilgi Kriteri) değeri 0,267 olarak elde edilmiştir (Şekil 27, Tablo 27). Ridge modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

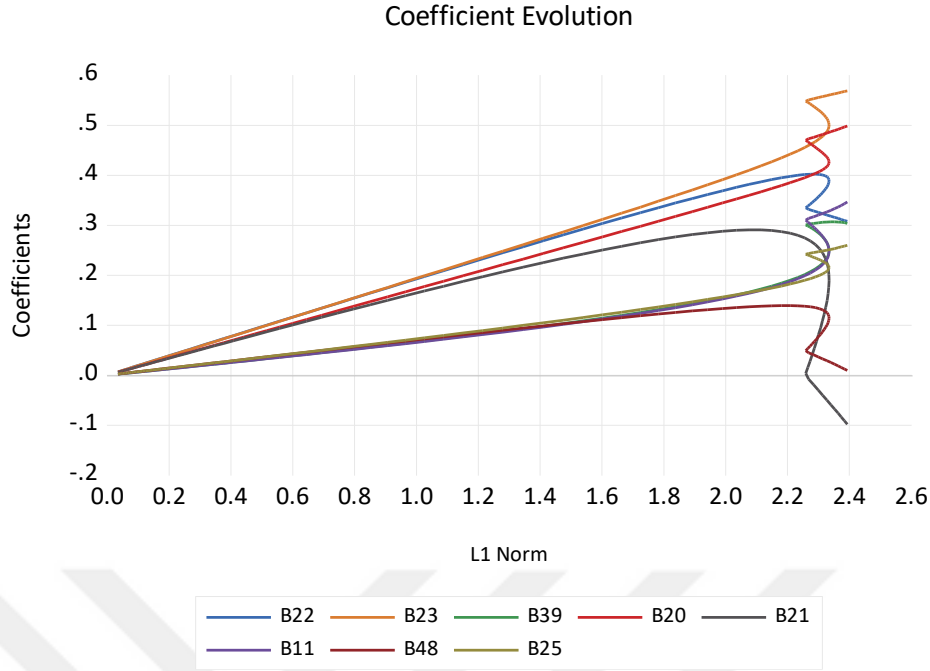
$$\text{Servikal vertebra iskelet yaşı} = 0,318 \cdot \text{FVD} + 0,561 \cdot \text{FiVD} + 0,307 \cdot \text{PH3} + 0,487 \cdot \text{SVD} - 0,059 \cdot \text{TVD} + 0,33 \cdot \text{TVup-TVlp} + 0,025 \cdot \text{UW3} + 0,252 \cdot \text{Y3} + 0,889$$



Şekil 25. Ham veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 26. Ham veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 27. Ham veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

Lasso regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,000148 lambda değerinde elde edilmiştir (şekil 28, Tablo 27). Modelde 6 bağımsız değişkeninin kat sayısı 0'dan farklı olmakla birlikte TVD Distance ve UW3 Distance parametrelerinin beta katsayısı 0 olarak elde edilmiştir. Bu değişkenlerin modele bir katkısı olmadığı için beta katsayısı model tarafından sıfırlanmıştır. Bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %78,27 oranında açıklanmaktadır (şekil 29, Tablo 27). L1 norm değeri 2,959 ve AIC (Akaike Bilgi Kriteri) değeri 0,254 olarak elde edilmiştir (şekil 30, Tablo 27). Lasso modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

$$\text{Servikal vertebra iskelet yaşı} = 0,185 \cdot \text{FVD} + 0,534 \cdot \text{FiVD} + 0,019 \cdot \text{PH3} + 0,448 \cdot \text{SVD} + 0 \cdot \text{TVD} + 0,647 \cdot \text{TVup-TVlp} + 0 \cdot \text{UW3} + 0,259 \cdot \text{Y3} + 0,868$$



Şekil 28. Ham veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 29. Ham veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



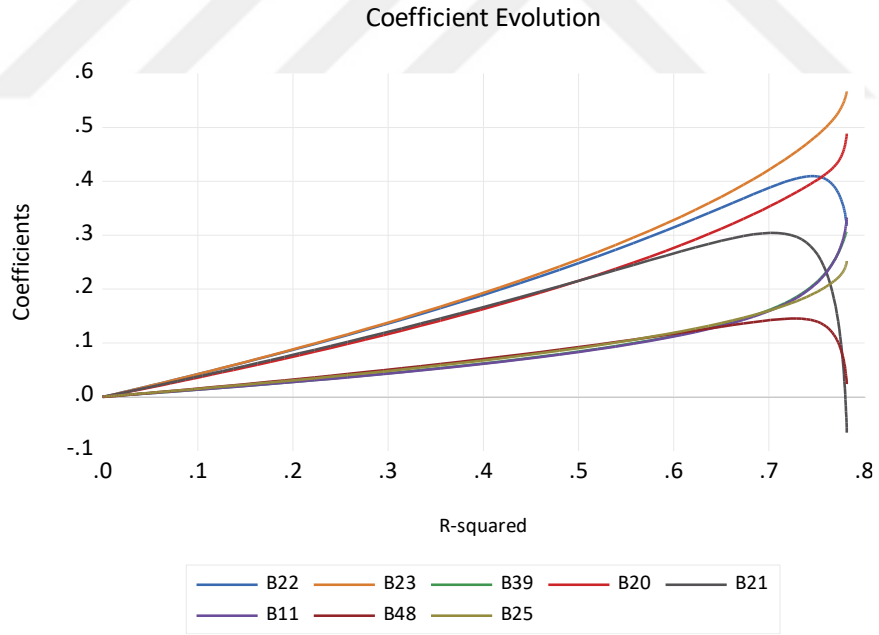
Şekil 30. Ham veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

Elastik net regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,002344 lambda değerinde elde edilmiştir (şekil 31, Tablo 27). Modelde 8 bağımsız değişkeninin tamamı yer almakta olup bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %78,15 oranında açıklanmaktadır (şekil 32, Tablo 27). L1 norm değeri 3,236 ve AIC (Akaike Bilgi Kriteri) değeri 0,267 olarak elde edilmiştir (şekil 33, Tablo 27). Elastik net modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

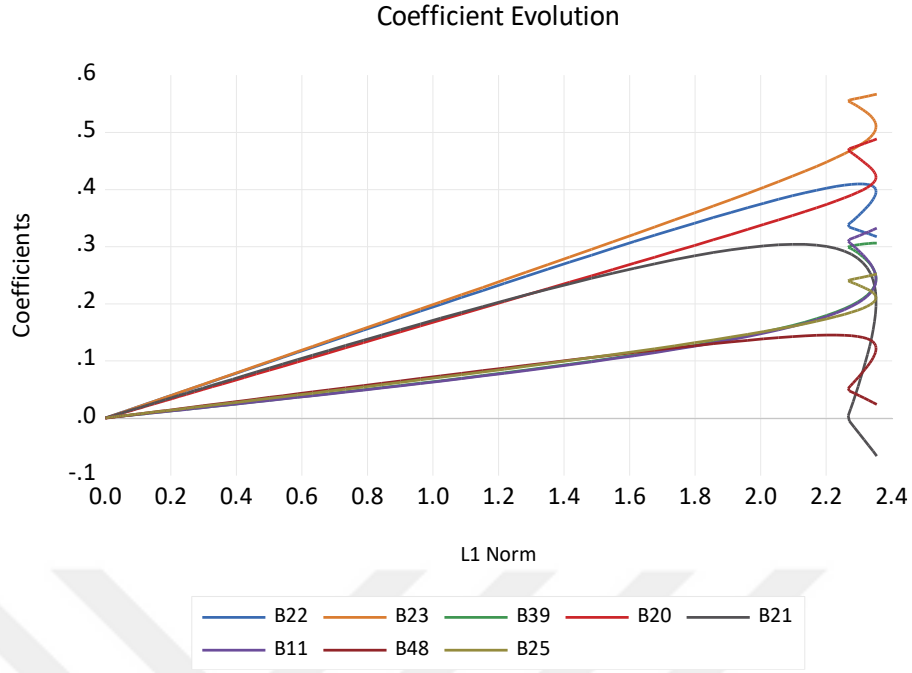
$$\text{Servikal vertebra iskelet yaşı} = 0,323 \cdot \text{FVD} + 0,564 \cdot \text{FiVD} + 0,306 \cdot \text{PH3} + 0,483 \cdot \text{SVD} - 0,048 \cdot \text{TVD} + 0,326 \cdot \text{TVup-TVlp} + 0,031 \cdot \text{UW3} + 0,249 \cdot \text{Y3} + 0,906$$



Şekil 31. Ham veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 32. Ham veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda R² değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 33. Ham veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

Tablo 28. Ham veri erkek datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları

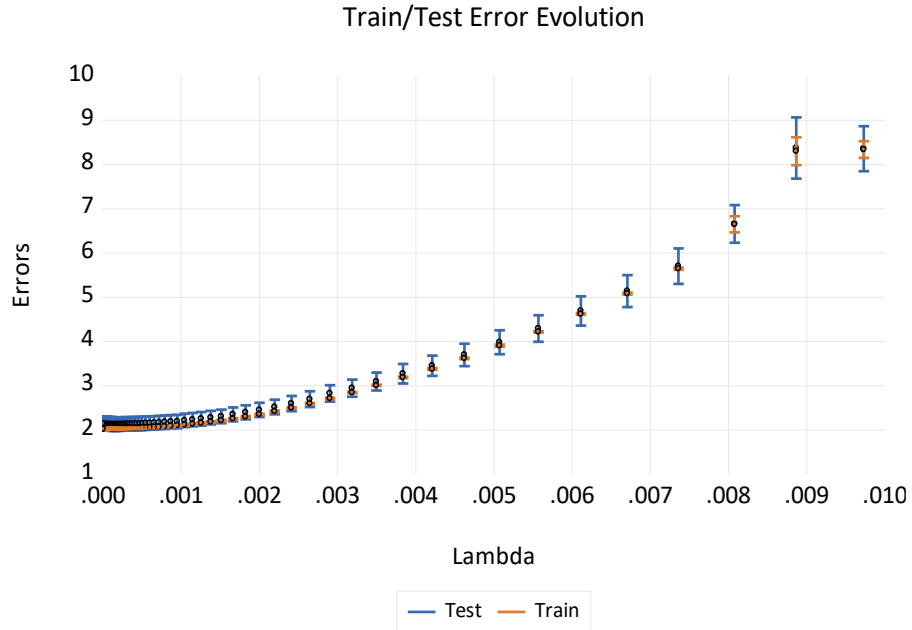
	Lambda	TestSet Means	TrainSet Means	TestSet Errors	TrainSet Errors
Ridge	0,076210	2,134	2,039	0,149	0,016
Lasso	0,000148	2,132	2,031	0,152	0,017
Elastik net	0,000002	2,135	2,038	0,149	0,016

Model sonuçlarında lambda değerine karşılık gelen ortalama hata değerleri hesaplanmıştır ve ridge modeline ait minimum hata 0,07621 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (şekil 34, Tablo 28). Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,134, eğitim veri setine ait hata ortalaması 2,039, test veri setine ait standart hata değeri 0,149 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,016 olarak elde edilmiştir. Lasso modeline ait minimum hata 0,000148 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (şekil 35, Tablo 28). Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,132, eğitim veri setine ait hata ortalaması 2,031, test veri setine ait standart hata değeri 0,152 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,017 olarak elde edilmiştir. Elastik net modeline ait minimum hata 0,000002 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (şekil 36, Tablo 28). Test veri setine ait ortalama

hata değeri 2,135, eğitim veri setine ait hata ortalaması 2,038, test veri setine ait standart hata değeri 0,149 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,016 olarak elde edilmiştir.



Şekil 34. Ham veri erkek datasetinde Ridge model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği



Şekil 35. Ham veri erkek datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği



Şekil 36. Ham veri erkek datasetinde Elastik net model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği

4.2.2. Çalışma çıktısı 2 ham veri kız datasetine ait bulgular

Tablo 29. Ham veri kız datasetine ait tanımlayıcı istatistikler

Parametre	n	Ortalama	S. sapma	Ortanca	Minimum	Maksimum	Basıklık	Çarpıklık
İskelet yaşı	465	13,572	2,723	13,500	6,830	18,000	-0,630	-0,373
SVp-SVa	465	11,807	1,128	11,745	7,960	15,860	0,310	0,120
TVup-TVua	465	11,902	1,316	11,907	7,220	16,640	0,749	-0,224
TVpm-TVam	465	12,893	1,310	12,909	8,700	18,910	0,865	0,096
TVlp-TVla	465	12,670	1,191	12,608	9,370	18,080	0,922	0,377
FVup-FVua	465	12,381	1,340	12,418	8,780	17,290	0,425	0,161
FVpm-FVam	465	12,730	1,371	12,674	8,610	18,440	0,678	0,269
FVlp-FVla	465	12,801	1,296	12,722	9,080	17,260	0,574	0,264
FiVup-FiVua	465	12,366	1,493	12,369	7,340	17,480	0,287	0,108
FiVpm-FiVam	465	12,656	1,420	12,594	8,290	18,010	0,538	0,314
FiVlp-FiVla	465	13,209	1,442	13,109	8,390	18,750	0,756	0,364
TVup-TVlp	465	11,195	2,010	11,553	4,830	15,780	-0,286	-0,531
TVum-TVd	465	9,854	1,694	10,127	4,860	14,200	-0,344	-0,300
TVua-TVla	465	9,969	2,351	10,118	4,470	16,160	-0,718	-0,047
FVup-FVlp	465	10,933	2,038	11,211	5,410	15,680	-0,377	-0,423
FVum-FVd	465	9,616	1,655	9,820	5,370	15,610	-0,202	-0,200
FVua-FVla	465	9,316	2,156	9,321	4,250	15,550	-0,851	0,051
FiVup-FiVlp	465	10,784	2,085	10,974	5,330	16,460	-0,455	-0,322
FiVum-FiVd	465	9,515	1,628	9,649	5,290	15,940	-0,118	-0,152
FiVua-FiVla	465	9,081	1,980	9,035	4,260	15,100	-0,673	0,038
SVD	465	1,358	0,589	1,362	0,000	2,920	-0,362	0,065
TVD	465	1,139	0,650	1,110	0,000	3,190	-0,383	0,392
FVD	465	1,002	0,637	0,944	0,000	3,060	-0,458	0,485
FiVD	465	0,935	0,596	0,885	0,010	2,700	-0,563	0,423
X3	465	18,117	2,003	18,299	12,490	25,710	0,048	-0,260
Y3	465	14,109	1,736	14,239	8,73	20,79	0,232	-0,181
X4	465	17,784	2,067	17,92	12,43	25,24	-0,005	-0,084
Y4	465	14,379	1,784	14,342	8,51	21,14	0,139	-0,032
X5	465	17,558	2,136	17,597	10,48	25,79	0,293	-0,006
Y5	465	14,697	1,843	14,68	9,27	22,07	0,132	0,022
D3 açısı	465	99,629	11,696	99,289	73,33	136,53	-0,341	0,29
D4 açısı	465	103,351	10,883	102,499	78,16	136,09	-0,549	0,287
D5 açısı	465	105,189	10,421	104,255	82,11	135,8	-0,567	0,225
K3 açısı	465	42,932	8,433	42,731	20,08	66,59	-0,397	0,017
K4 açısı	465	39,278	7,274	39,226	21,42	57,11	-0,763	-0,038
K5 açısı	465	37,251	6,524	37,128	20,39	54,4	-0,512	0,087
AÜK3 açısı	465	6,852	5,677	7,2	-17,07	20,94	0,504	-0,297
AÜK4 açısı	465	7,972	4,816	8,164	-7,88	25,46	0,098	0,03
AÜK5 açısı	465	8,491	4,525	8,637	-4,37	24,25	-0,082	-0,007
PH3	465	11,04	1,979	11,354	4,74	15,6	-0,255	-0,511
H3	465	10,809	2,024	11,213	5,37	16,24	-0,48	-0,39
AH3	465	9,604	2,305	9,811	4,12	15,79	-0,761	-0,127
PH4	465	10,824	2,015	11,15	5,28	15,45	-0,329	-0,427
H4	465	10,391	2,01	10,698	5,28	16,15	-0,6	-0,286
AH4	465	9,11	2,148	9,121	4,06	15,31	-0,871	0,013
PH5	465	10,727	2,072	10,935	5,33	16,42	-0,446	-0,324
H5	465	10,215	1,931	10,412	5,61	16,73	-0,567	-0,189
AH5	465	8,898	1,986	8,93	4,11	14,9	-0,718	0,012
UW3	465	11,429	1,226	11,485	7,18	16,38	0,808	-0,122
LW3	465	12,499	1,219	12,46	8,27	17,88	1,015	0,283
UW4	465	11,937	1,282	11,979	8,17	17	0,618	0,191
LW4	465	12,677	1,323	12,624	8,43	17	0,556	0,213
UW5	465	12,053	1,425	12,094	7,33	17,27	0,42	0,166
LW5	465	13,141	1,452	13,086	8,05	18,71	0,811	0,341

Kızların iskelet yaşı ortalaması 13,57, minimum değer 6,83 ve maksimum değer 18 olarak elde edilmiştir. Basıklık ve çarpıklık değerleri -0,63; -0,37 olarak elde edilmiş olup normal dağılmaktadır. Diğer değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 29’da detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 30. Ham veri kız datasetine ait doğrusallık istatistikleri

	Kız		Ölçümler	Kız	
	Tolerance	VIF		Tolerance	VIF
FVup-FVlp	0	13112,1	K4 açısı	0,001	1992,53
AH3	0,001	1840,53	K5 açısı	0,001	1358,53
AH4	0	5082,87	LW3	0,001	772,953
AH5	0	2051,75	LW4	0,002	632,613
AÜK3 açısı	0,004	284,422	LW5	0,001	844,341
AÜK4 açısı	0,004	250,702	PH3	0,001	1177,72
AÜK5 açısı	0,006	178,519	PH4	0,001	1337,63
D3 açısı	0	2326,59	PH5	0,001	847,303
D4 açısı	0	2474,24	SVD	0,405	2,47
D5 açısı	0,001	1722,65	SVp-SVa	0,395	2,529
FiVD	0,138	7,267	TVD	0,084	11,935
FiVlp-FiVla	0,001	947,5	TVlp-TVla	0,001	973,426
FiVpm-FiVam	0,092	10,886	TVpm-TVam	0,091	10,958
FiVua-FiVla	0,001	1479	TVua-TVla	0,001	1771,12
FiVum-FiVd	0,026	38,321	TVum-TVd	0,014	69,296
FiVup-FiVlp	0	34200	TVup-TVlp	0	8472,63
FiVup-FiVua	0,001	850,398	TVup-TVua	0,002	481,131
FVD	0,105	9,536	UW3	0,003	368,668
FVlp-FVla	0,001	810,977	UW4	0,002	652,179
FVpm-FVam	0,066	15,11	UW5	0,001	741,698
FVua-FVla	0	4776,87	X3	0,001	979,453
FVum-FVd	0,019	51,533	X4	0,001	1404,84
FVup-FVua	0,001	747,306	X5	0,001	1081,78
H3	0,008	127,789	Y3	0,003	330,541
H4	0,009	109,27	Y4	0,002	615,488
H5	0,012	80,036	Y5	0,002	521,382
K3 açısı	0	2289,14			

VIF değerleri 10 üzerinde olan bağımsız değişkenler koyu punto ile gösterilmiştir (Tablo 30).

Tablo 31. Ham veri kız datasetinde Ridge, lasso ve elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

	Ridge	Lasso	Elastik net
Lambda	0,05002	0,000012	0,0000012
SVp-SVa	0,029	0,023	0,019
TVup-TVua	-0,058	-0,026	-0,035
TVpm-TVam	0,164	0,205	0,137
TVlp-TVla	-0,070	-0,083	-0,065
FVup-FVua	0,104	0,104	0,084
FVpm-FVam	-0,062	-0,087	-0,040
FVlp-FVla	-0,056	-0,046	-0,067
FiVup-FiVua	0,050	0,014	0,046
FiVpm-FiVam	0,098	0,100	0,080
FiVlp-FiVla	-0,050	-0,075	-0,047
TVup-TVlp	0,051	0,021	0,054
TVum-TVd	-0,173	-0,259	-0,110
TVua-TVla	-0,007	0,000	0,005
FVup-FVlp	0,042	0,010	0,043
FVum-FVd	-0,038	-0,014	-0,021
FVua-FVla	-0,032	-0,036	-0,004
FiVup-FiVlp	0,009	0,000	0,015
FiVum-FiVd	0,022	0,000	0,011
FiVua-FiVla	-0,014	0,000	0,002
SVD	0,211	0,186	0,218
TVD	0,046	-0,016	0,106
FVD	0,374	0,418	0,362
FiVD	0,112	0,060	0,116
X3	-0,033	-0,029	-0,022
Y3	0,110	0,139	0,098
X4	-0,044	-0,048	-0,026
Y4	0,063	0,036	0,062
X5	-0,017	0,000	-0,010
Y5	0,069	0,059	0,060
D3 açısı	-0,024	-0,039	-0,021
D4 açısı	-0,029	-0,045	-0,023
D5 açısı	-0,023	-0,028	-0,018
K3 açısı	0,017	0,012	0,014
K4 açısı	0,031	0,030	0,023
K5 açısı	0,025	0,022	0,020
AÜK3 açısı	0,014	0,012	0,011
AÜK4 açısı	-0,002	0,002	-0,001
AÜK5 açısı	-0,007	-0,002	-0,006
PH3	0,072	0,076	0,071
H3	0,095	0,116	0,064
AH3	0,029	0,000	0,030
PH4	0,036	0,000	0,041
H4	0,091	0,085	0,071
AH4	0,001	0,000	0,016
PH5	0,016	0,000	0,020
H5	-0,014	-0,001	0,002
AH5	0,002	0,000	0,014
UW3	0,099	0,068	0,076
LW3	-0,019	0,000	-0,021
UW4	0,157	0,228	0,128
LW4	-0,052	-0,025	-0,060
UW5	0,110	0,165	0,091
LW5	-0,027	-0,005	-0,032
C	8,661	12,86	7,636
df	53	53	53
L1 Norm	11,861	15,918	10,475
R-squared	0,802	0,804	0,799
AIC	0,426	0,424	0,429

Ridge model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,05002 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 11,861 ve determinasyon katsayısı 0,802 olarak elde edilmiştir. Modelde 53 bağımsız değişkenin tamamı yer almaktadır (Tablo 31).

Lasso model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,000012 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 15,918 ve determinasyon katsayısı 0,804 olarak elde edilmiştir. Lasso modelinde temel amaç modelde yer alan bağımsız değişkenler içerisinde bağımlı değişkene etkisi olmayan değişkenlerin katsayılarını sıfıra yanaştırmaktır. Modelde 53 bağımsız değişkenin tamamı yer almaktadır (Tablo 31).

Elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,0000012 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 10,475 ve determinasyon katsayısı 0,799 olarak elde edilmiştir. Modelde 53 bağımsız değişkenin tamamı yer almaktadır (Tablo 31).

Tablo 32. Ham veri kız datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları

	Lambda	TestSet Means	TrainSet Means	TestSet Errors	TrainSet Errors
Ridge	0,05002	1,613	1,456	0,121	0,013
Lasso	0,000012	1,636	1,437	0,170	0,018
Elastik net	0,0000012	1,633	1,467	0,170	0,018

Ridge regresyon modeli sonucunda ortalama minimum hata 0,05002 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 1,613, eğitim veri setine ait hata ortalaması 1,456, test veri setine ait standart hata değeri 0,121 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,013 olarak elde edilmiştir (Tablo 32).

Lasso regresyon modeli sonucunda ortalama minimum hata 0,000012 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 1,636, eğitim veri setine ait hata ortalaması 1,437, test veri setine ait standart hata değeri 0,170 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,018 olarak elde edilmiştir (Tablo 32).

Elastik net regresyon sonucunda ortalama minimum hata 0,0000012 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata de

ğeri 1,633, eğitim veri setine ait hata ortalaması 1,467, test veri setine ait standart hata değeri 0,170 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,018 olarak elde edilmiştir (Tablo 32).

Sefalometrik radyograflerde yaptığımız sefalometrik ölçümlerden servikal vertebra iskelet yaşı elde edilirken ilk aşamada ham veri kız datasetinden iskelet yaşı elde edilmesinde kullanılabilecek en etkili parametrelerin seçimi için Tablo 31’da her bir regresyon modelinin katsayıları değerlendirilmiştir. Her bir regresyon modelinde en yüksek katsayılara sahip 8’er tane parametre seçilmiştir. İkincil analiz için seçilen 24 parametrenin eliminasyonu için; her üç regresyon modelinde ortak olan (SVD, FVD, TVum-TVd, TVpm-TVam, UW4, Y3) ek olarak Ridge ve Elastic Net regresyon modellerinde ortak olan FiVD ve Lasso ve Ridge regresyon modellerinde ortak olan UW5 parametresi seçilmiştir. Sonuç olarak ikincil analiz için parametreler; FiVD, FVD, SVD, TVpm-TVam, TVum-TVd, UW4, UW5, Y3 olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada ham veri erkek datasetinde belirlenen bu 8 parametre üzerinden servikal vertebra iskelet yaşı elde edilmiştir (Tablo 33).

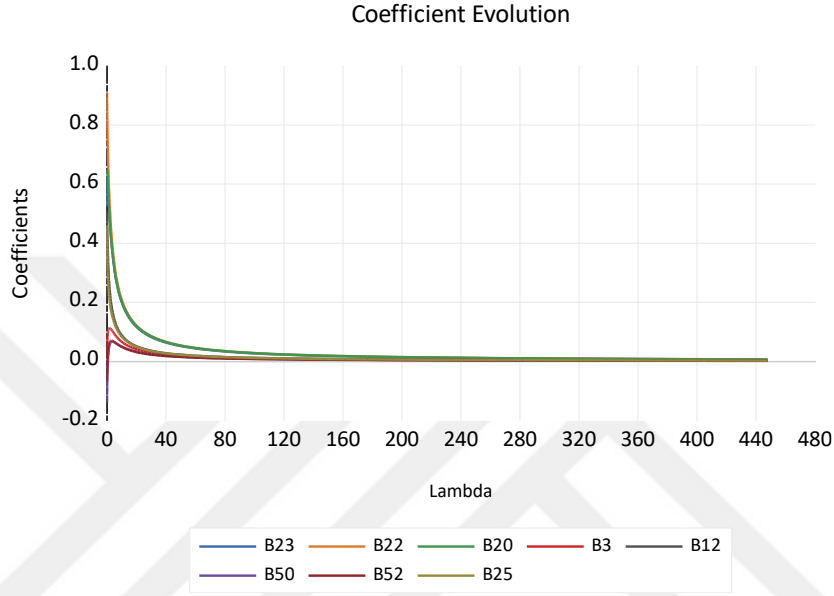
Tablo 33. Ham veri kız datasetinde Ridge, lasso ve elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

Lambda	Ridge	Lasso	Elastik net
	0,04913915	0,00003718	0,00000113
FiVD	0,528	0,481	0,543
FVD	0,909	0,935	0,891
SVD	0,638	0,614	0,642
TVpm-TVam	0,023	0,000	0,033
TVum-TVd	0,508	0,513	0,498
UW4	-0,138	-0,149	-0,126
UW5	-0,064	-0,065	-0,055
Y3	0,456	0,494	0,435
C	1,988	1,892	1,985
df	8	7	8
L1 Norm	5,251	5,143	5,207
R-squared	0,740	0,741	0,740
AIC	0,294	0,289	0,295

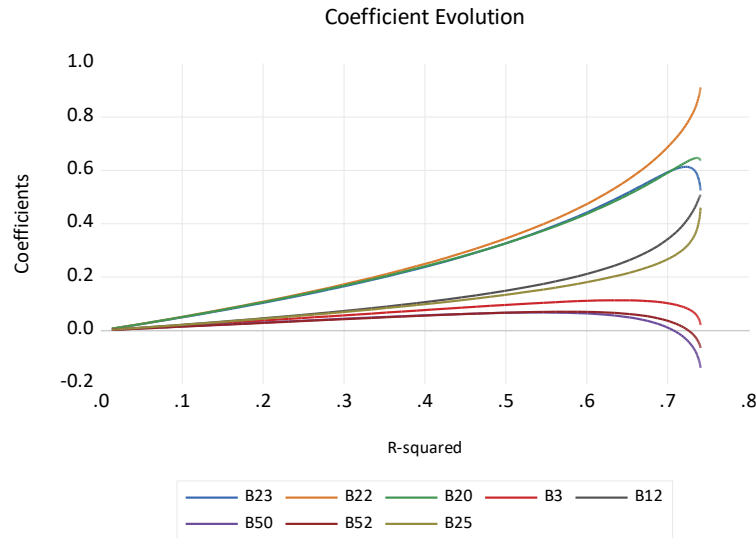
Ridge regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,04913915 lambda değerinde elde edilmiştir (Tablo 33, Şekil 37). Modele 8 bağımsız değişkeninin tamamı yer almakta olup bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %74,04 oranında açıklanmaktadır (Tablo 33, Şekil 38). L1 norm değeri 5,251 ve AIC (Akaike

Bilgi Kriteri) değeri 0,294 olarak elde edilmiştir (Tablo 33, Şekil 39). Ridge modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

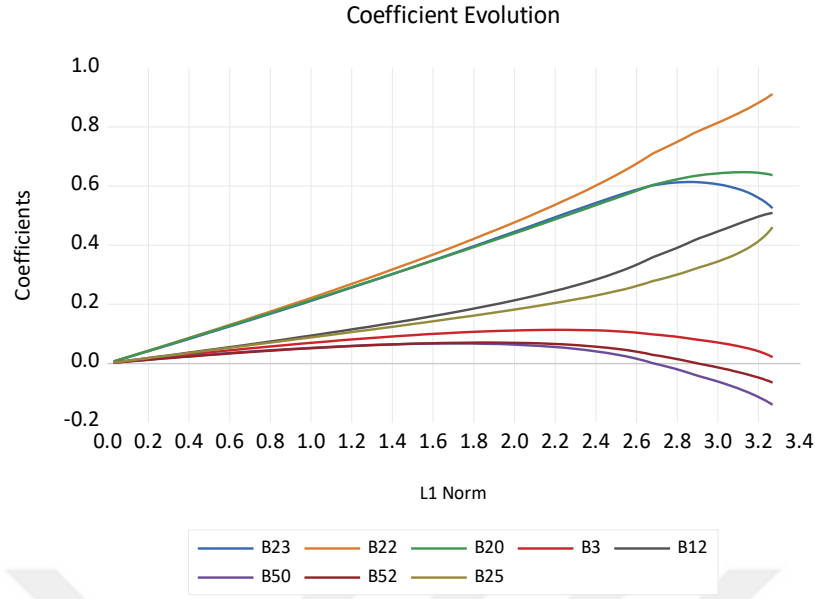
$$\text{Servikal vertebra iskelet yaşı} = 0,528 \cdot \text{FiVD} + 0,909 \cdot \text{FVD} + 0,638 \cdot \text{SVD} + 0,023 \cdot \text{TVpm-TVam} + 0,508 \cdot \text{TVum-TVd} - 0,138 \cdot \text{UW4} - 0,064 \cdot \text{UW5} + 0,456 \cdot \text{Y3} + 1,988$$



Şekil 37. Ham veri kız datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



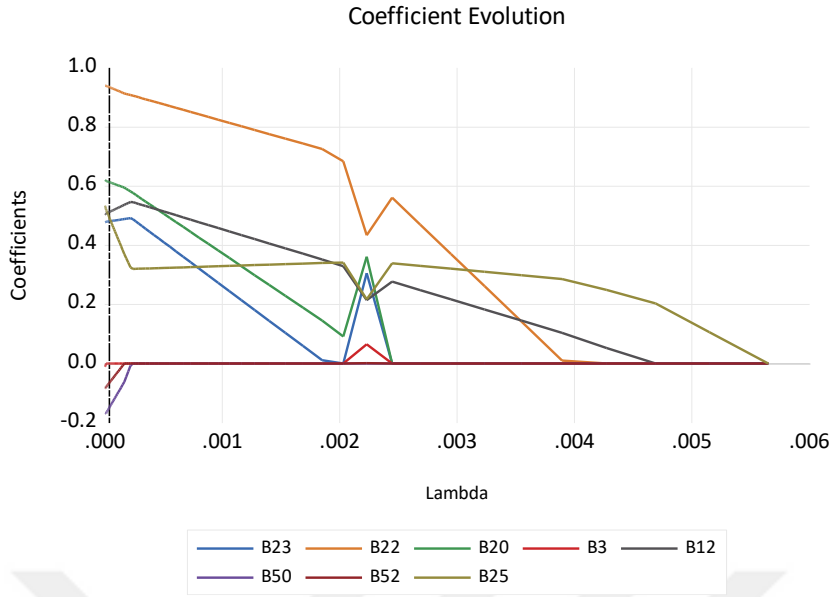
Şekil 38. Ham veri kız datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 39. Ham veri kız datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

Lasso regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,00003718 lambda değerinde elde edilmiştir (Tablo 33, Şekil 40). Modelde 7 bağımsız değişkeninin kat sayısı 0'dan farklı olmakla birlikte TVpm-TVam Distance parametresinin beta katsayısı 0 olarak elde edilmiştir. Bu değişkeninin modele bir katkısı olmadığı için beta katsayısı model tarafından sıfırlanmıştır. Bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %74,09 oranında açıklanmaktadır (Tablo 33, Şekil 41). L1 norm değeri 5,143 ve AIC (Akaike Bilgi Kriteri) değeri 0,289 olarak elde edilmiştir (Tablo 33, Şekil 42). Lasso modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

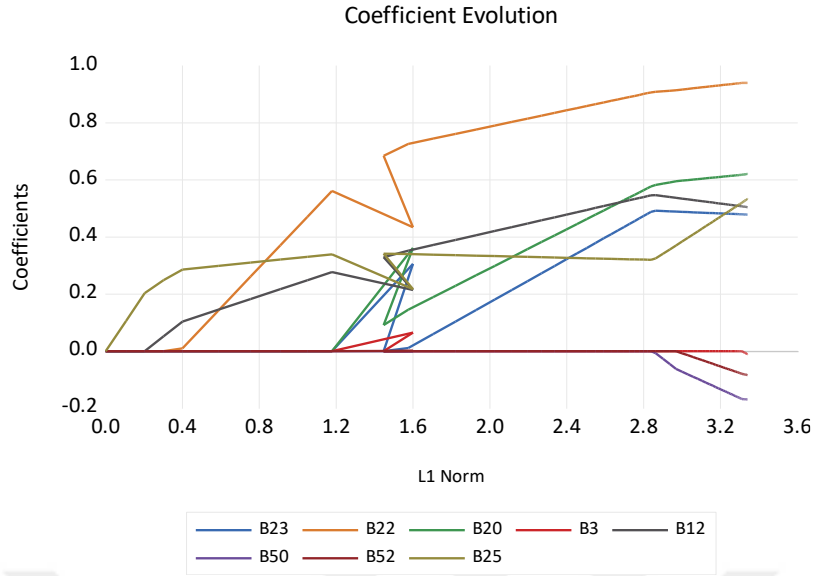
$$\text{Servikal veretbra iskelet yaşı} = 0,481 \cdot \text{FiVD} + 0,935 \cdot \text{FVD} + 0,614 \cdot \text{SVD} + 0 \cdot \text{TVpm-TVam} + 0,513 \cdot \text{TVum-TVd} - 0,149 \cdot \text{UW4} - 0,065 \cdot \text{UW5} + 0,494 \cdot \text{Y3} + 1,892$$



Şekil 40. Ham veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



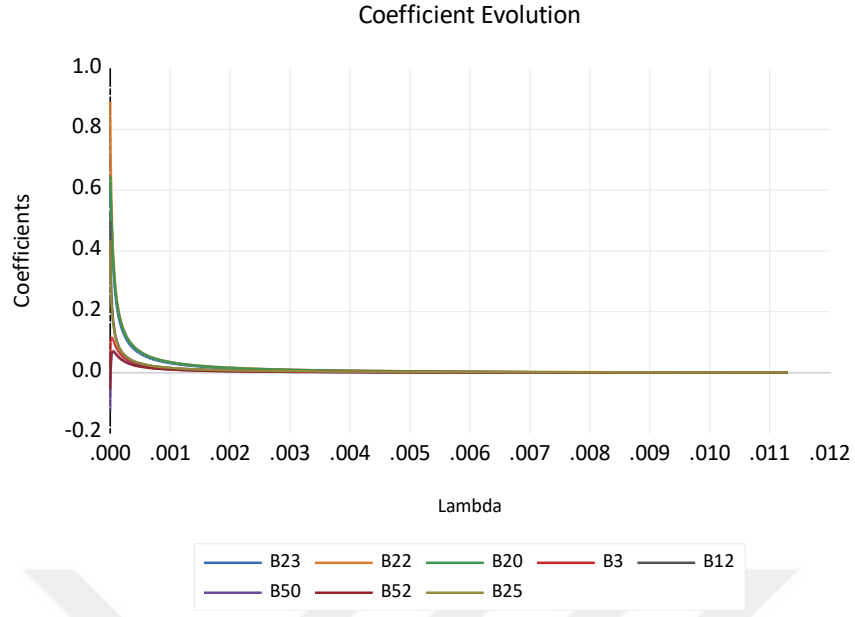
Şekil 41. Ham veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



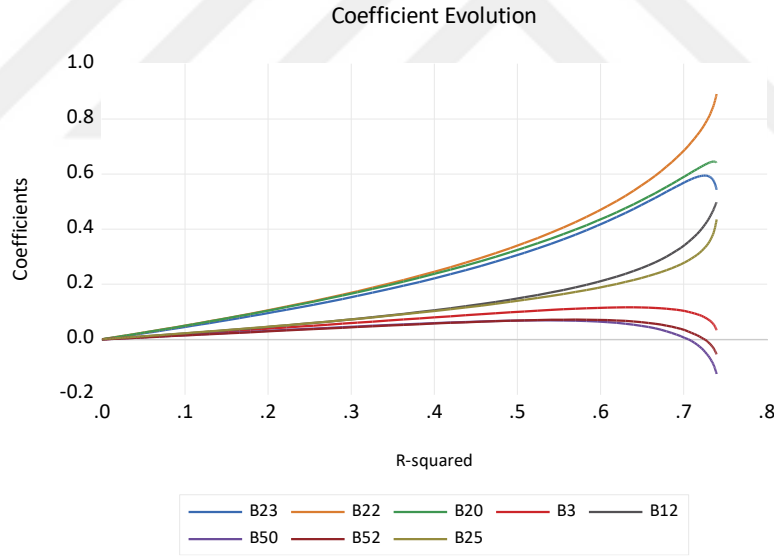
Şekil 42. Ham veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

Elastik net regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,00000113 lambda değerinde elde edilmiştir (Tablo 33, Şekil 43). Modelde 8 bağımsız değişkeninin tamamı yer almakta olup bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %73,96 oranında açıklanmaktadır (Tablo 33, Şekil 44). L1 norm değeri 5,207 ve AIC (Akaike Bilgi Kriteri) değeri 0,295 olarak elde edilmiştir (Tablo 33, Şekil 45). Elastik net modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

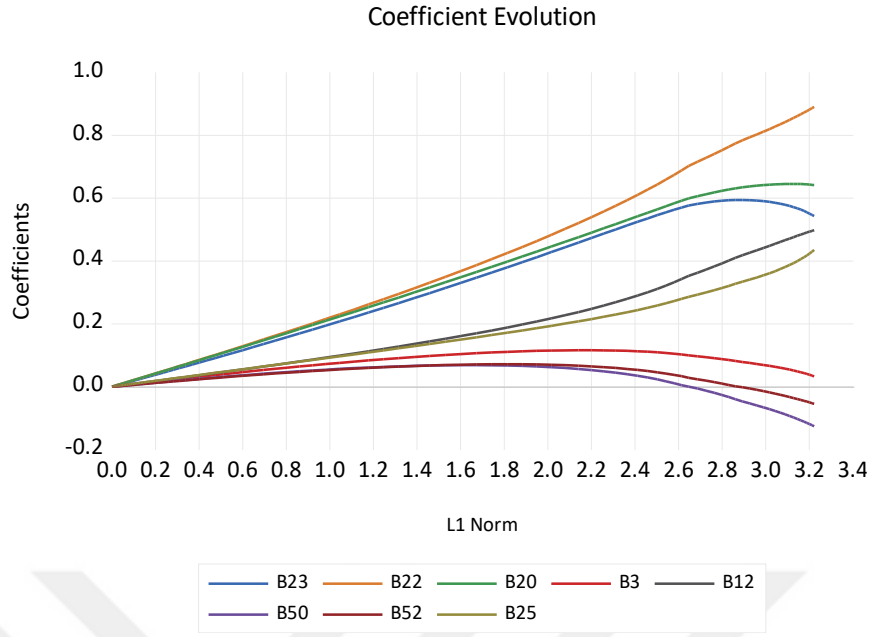
$$\text{Servikal vertebra iskelet yaşı} = 0,543 \cdot \text{FiVD} + 0,891 \cdot \text{FVD} + 0,642 \cdot \text{SVD} + 0,033 \cdot \text{TVpm-TVam} + 0,498 \cdot \text{TVum-TVd} - 0,126 \cdot \text{UW4} - 0,055 \cdot \text{UW5} + 0,435 \cdot \text{Y3} + 1,985$$



Şekil 43. Ham veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 44. Ham veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



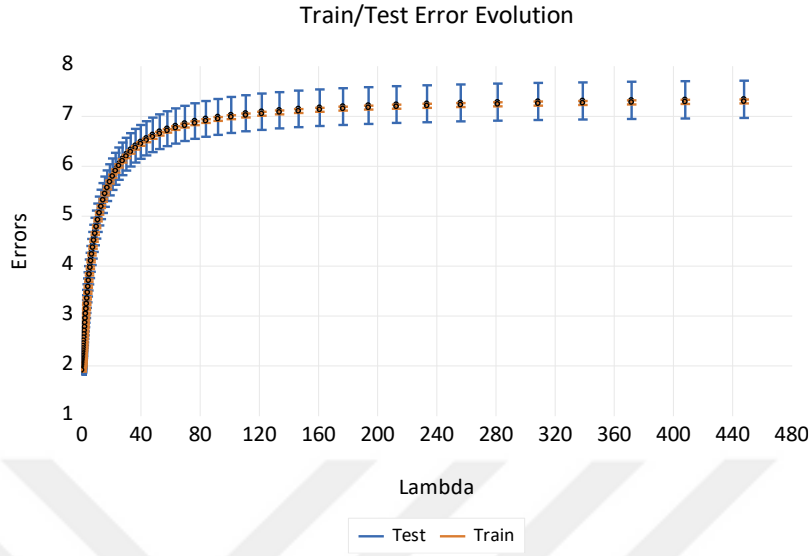
Şekil 45. Ham veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

Tablo 34. Ham veri kız datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları

	Lambda	TestSet Means	TrainSet Means	TestSet Errors	TrainSet Errors
Ridge	0,04913915	2,016	1,915	0,192	0,021
Lasso	0,00003718	2,018	1,911	0,191	0,021
Elastik net	0,00000113	2,016	1,918	0,192	0,021

Model sonuçlarında lambda değerine karşılık gelen ortalama hata değerleri hesaplanmıştır ve ridge modeline ait minimum hata 0,04913915 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (Tablo 34, Şekil 46). Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,016, eğitim veri setine ait hata ortalaması 1,915, test veri setine ait standart hata değeri 0,192 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,021 olarak elde edilmiştir. Lasso modeline ait minimum hata 0,00003718 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (Tablo 34, Şekil 47). Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,018, eğitim veri setine ait hata ortalaması 1,911, test veri setine ait standart hata değeri 0,191 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,021 olarak elde edilmiştir. Elastik net modeline ait minimum hata 0,00000113 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (Tablo 34, Şekil 48). Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,016, eğitim

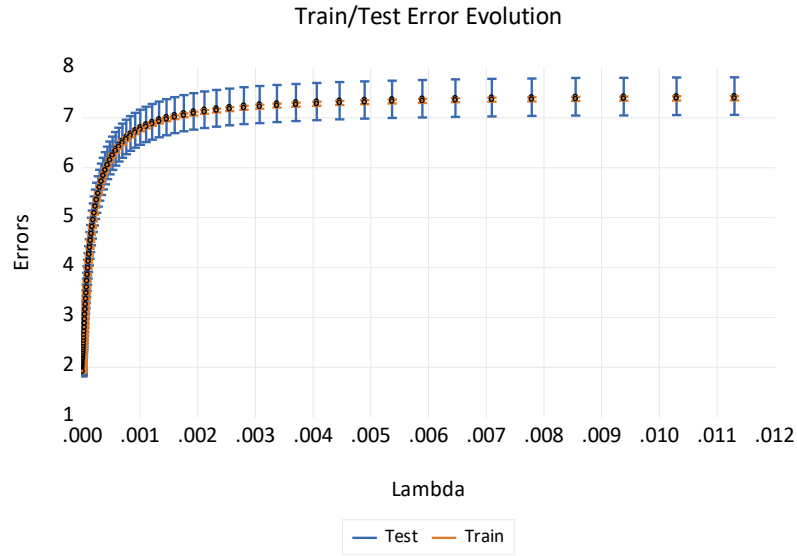
veri setine ait hata ortalaması 1,918, test veri setine ait standart hata değeri 0,192 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,021 olarak elde edilmiştir.



Şekil 46. Ham veri kız datasetinde Ridge model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği



Şekil 47. Ham veri kız datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği



Şekil 48. Ham veri kız datasetinde Elastik net model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği

4.2.3. Çalışma çıktısı 2 türetilmiş veri erkek datasetine ait bulgular

Tablo 35. Türetilmiş veri erkek datasetine ait tanımlayıcı istatistikler

Ölçümler	n	Ortalama	S. sapma	Ortanca	Minimum	Maksimum	Basıklık	Çarpıklık
İskelet yas	329	12,86	3,065	13	5	19	0,066	-0,287
D3 açısı	329	109,216	12,094	110,055	78,06	133,84	-0,342	-0,381
D4 açısı	329	111,711	10,587	112,121	77,11	134,7	0,043	-0,396
D5 açısı	329	113,68	9,955	114,834	84,14	138,14	0,046	-0,396
K3 açısı	329	36,442	8,229	35,203	18,41	62,77	0,253	0,667
K4 açısı	329	33,833	6,612	33,059	18,13	55,84	0,579	0,725
K5 açısı	329	32,16	6,121	31,376	17,84	52,02	0,619	0,61
AÜK3 açısı	329	8,652	5,285	8,955	-17,24	22,29	1,77	-0,601
AÜK4 açısı	329	9,554	4,865	9,724	-2,68	22,5	-0,172	-0,086
AÜK5 açısı	329	9,469	4,814	9,856	-9,32	22,22	0,458	-0,245
20 lineer/1 lineer	329	0,087	0,048	0,083	0,01	0,24	-0,446	0,396
12 lineer/11 lineer	329	0,882	0,082	0,879	0,68	1,21	1,373	0,595
12 lineer/13 lineer	329	1,069	0,151	1,053	0,53	1,71	2,034	0,623
12 lineer/2 lineer	329	0,723	0,148	0,7	0,4	1,22	0,373	0,678
12 lineer/4 lineer	329	0,678	0,142	0,666	0,36	1,14	0,12	0,554
12 lineer/3 lineer	329	0,684	0,131	0,67	0,38	1,17	0,19	0,468
21 lineer/12 lineer	329	0,095	0,062	0,083	0	0,39	1,078	0,867
11 lineer/3 lineer	329	0,778	0,144	0,779	0,4	1,23	-0,109	0,108
11 lineer/4 lineer	329	0,773	0,16	0,759	0,38	1,29	-0,123	0,327
11 lineer/2 lineer	329	0,822	0,163	0,811	0,42	1,29	0,105	0,478
21 lineer/11 lineer	329	0,081	0,049	0,075	0	0,27	-0,028	0,591
21 lineer/13 lineer	329	0,095	0,054	0,09	0	0,25	-0,352	0,43
2 lineer/4 lineer	329	0,94	0,071	0,938	0,75	1,14	-0,212	0,019
21 lineer/2 lineer	329	0,069	0,048	0,058	0	0,29	0,915	0,957
3 lineer/2 lineer	329	1,057	0,063	1,047	0,92	1,27	0,346	0,668
3 lineer/4 lineer	329	0,99	0,053	0,983	0,87	1,19	1,496	0,948
3 lineer/13 lineer	329	1,622	0,385	1,602	0,78	3,14	0,623	0,511
21 lineer/3 lineer	329	0,065	0,044	0,056	0	0,25	0,487	0,855
21 lineer/4 lineer	329	0,065	0,046	0,054	0	0,3	1,498	1,064

Tablo 35 (Devam) Türetilmiş veri erkek datasetine ait tanımlayıcı istatistikler

Ölçümler	n	Ortalama	S. sapma	Ortanca	Minimum	Maksimum	Basıklık	Çarpıklık
13 lineer/11 lineer	329	0,838	0,122	0,827	0,5	1,41	2,266	0,675
13 lineer/4 lineer	329	0,649	0,176	0,612	0,32	1,23	0,586	0,953
13 lineer/2 lineer	329	0,693	0,19	0,653	0,31	1,34	0,866	0,99
15 lineer/14 lineer	329	0,881	0,089	0,87	0,65	1,23	0,979	0,533
15 lineer/16 lineer	329	1,108	0,135	1,093	0,73	1,64	1,535	0,823
15 lineer/5 lineer	329	0,686	0,121	0,679	0,45	1,12	0,607	0,691
15 lineer/7 lineer	329	0,661	0,122	0,649	0,42	1,22	1,134	0,791
15 lineer/6 lineer	329	0,673	0,116	0,664	0,43	1,09	0,292	0,495
22 lineer/15 lineer	329	0,081	0,057	0,072	0	0,27	0,247	0,802
14 lineer/6 lineer	329	0,77	0,144	0,773	0,45	1,22	0,046	0,116
14 lineer/7 lineer	329	0,757	0,151	0,756	0,43	1,36	0,511	0,384
14 lineer/5 lineer	329	0,784	0,145	0,774	0,48	1,25	0,333	0,357
22 lineer/14 lineer	329	0,069	0,046	0,065	0	0,2	-0,152	0,605
5 lineer/7 lineer	329	0,965	0,066	0,966	0,78	1,18	-0,014	0,102
22 lineer/5 lineer	329	0,056	0,042	0,048	0	0,2	0,592	0,947
6 lineer/5 lineer	329	1,02	0,056	1,013	0,88	1,22	0,556	0,549
6 lineer/7 lineer	329	0,982	0,048	0,977	0,85	1,19	1,463	0,687
6 lineer/16 lineer	329	1,697	0,36	1,659	0,9	3,12	0,4	0,404
22 lineer/6 lineer	329	0,055	0,041	0,047	0	0,18	0,357	0,889
22 lineer/7 lineer	329	0,054	0,041	0,045	0	0,19	0,539	0,959
16 lineer/14 lineer	329	0,804	0,107	0,797	0,55	1,14	0,133	0,344
16 lineer/7 lineer	329	0,607	0,145	0,581	0,31	1,24	1,78	1,148
16 lineer/5 lineer	329	0,63	0,149	0,605	0,33	1,23	1,55	1,078
22 lineer/16 lineer	329	0,085	0,055	0,079	0	0,26	-0,157	0,563
18 lineer/17 lineer	329	0,901	0,087	0,892	0,68	1,31	1,284	0,597
18 lineer/19 lineer	329	1,137	0,147	1,125	0,78	1,75	1,428	0,68
18 lineer/8 lineer	329	0,682	0,111	0,665	0,47	1,03	0,163	0,609
18 lineer/10 lineer	329	0,644	0,117	0,635	0,41	1,38	4,043	1,098
18 lineer/9 lineer	329	0,671	0,109	0,662	0,45	0,96	-0,283	0,365
23 lineer/18 lineer	329	0,078	0,056	0,066	0	0,29	0,922	1,016
17 lineer/9 lineer	329	0,751	0,137	0,739	0,42	1,11	-0,338	0,231
17 lineer/10 lineer	329	0,722	0,143	0,704	0,41	1,36	0,79	0,571
17 lineer/8 lineer	329	0,764	0,138	0,75	0,44	1,2	0,305	0,539
23 lineer/17 lineer	329	0,068	0,044	0,061	0	0,21	0,186	0,732
8 lineer/10 lineer	329	0,945	0,074	0,943	0,72	1,54	12,275	1,611
23 lineer/8 lineer	329	0,054	0,039	0,044	0	0,2	0,573	0,961
9 lineer/8 lineer	329	1,019	0,057	1,012	0,84	1,24	1,111	0,548
9 lineer/10 lineer	329	0,96	0,054	0,955	0,82	1,49	27,556	2,875
9 lineer/19 lineer	329	1,741	0,365	1,704	0,96	3,07	0,532	0,56
23 lineer/9 lineer	329	0,053	0,039	0,044	0	0,19	0,423	0,927
23 lineer/10 lineer	329	0,051	0,038	0,042	0	0,21	1,112	1,096
19 lineer/17 lineer	329	0,803	0,111	0,794	0,52	1,26	0,965	0,446
19 lineer/10 lineer	329	0,576	0,13	0,556	0,31	1,04	1,167	0,921
19 lineer/8 lineer	329	0,612	0,137	0,592	0,32	1,12	1,438	0,92
23 lineer/19 lineer	329	0,085	0,054	0,076	0	0,25	0,172	0,715
21 lineer/AH3 lineer	329	0,099	0,056	0,093	0	0,25	-0,383	0,411
PH3 lineer/UW3 lineer	329	0,85	0,166	0,842	0,42	1,31	-0,036	0,3
PH3 lineer/LW3 lineer	329	0,773	0,16	0,759	0,38	1,29	-0,123	0,327
H3 lineer/UW3 lineer	329	0,807	0,173	0,785	0,46	1,29	-0,105	0,56
H3 lineer/LW3 lineer	329	0,735	0,17	0,71	0,41	1,23	-0,043	0,626
AH3 lineer/UW3 lineer	329	0,691	0,187	0,655	0,33	1,3	0,548	0,9
AH3 lineer/LW3 lineer	329	0,63	0,181	0,595	0,31	1,26	0,596	0,958
21 lineer/H3 lineer	329	0,086	0,051	0,079	0	0,3	0,158	0,571
21 lineer/PH3 lineer	329	0,082	0,051	0,075	0	0,29	0,211	0,642

Tablo 35 (Devam) Türetilmiş veri erkek datasetine ait tanımlayıcı istatistikler

Ölçümler	n	Ortalama	S. sapma	Ortanca	Minimum	Maksimum	Basıklık	Çarpıklık
22 lineer /AH4 lineer	329	0,087	0,056	0,082	0	0,26	-0,191	0,546
PH4 lineer/UW4 lineer	329	0,812	0,153	0,801	0,48	1,28	0,183	0,24
PH4 lineer/LW4 lineer	329	0,757	0,151	0,756	0,43	1,36	0,511	0,384
H4 lineer/UW4 lineer	329	0,752	0,146	0,743	0,41	1,23	0,275	0,591
H4 lineer/LW4 lineer	329	0,702	0,146	0,685	0,41	1,31	0,686	0,744
AH4 lineer/UW4 lineer	329	0,638	0,149	0,616	0,33	1,19	1,33	1,021
AH4 lineer/LW4 lineer	329	0,596	0,148	0,569	0,3	1,25	1,805	1,167
22 lineer/H4 lineer	329	0,074	0,049	0,071	0	0,22	-0,263	0,557
22 lineer/PH4 lineer	329	0,069	0,046	0,065	0	0,2	-0,144	0,611
23 lineer/AH5 lineer	329	0,087	0,055	0,078	0	0,26	0,217	0,72
PH5 lineer/UW5 lineer	329	0,784	0,144	0,768	0,45	1,24	0,026	0,421
PH5 lineer/LW5 lineer	329	0,722	0,143	0,704	0,41	1,36	0,79	0,571
H5 lineer/UW5 lineer	329	0,735	0,135	0,72	0,45	1,15	0,228	0,594
H5 lineer/LW5 lineer	329	0,677	0,135	0,661	0,39	1,3	1,116	0,773
AH5 lineer/UW5 lineer	329	0,614	0,138	0,593	0,33	1,1	1,293	0,897
AH5 lineer/LW5 lineer	329	0,565	0,135	0,543	0,29	1,09	1,434	1,004
23 lineer/H5 lineer	329	0,073	0,047	0,064	0	0,22	0,263	0,755
23 lineer/PH5 lineer	329	0,068	0,045	0,061	0	0,21	0,241	0,755

Türetilmiş veri setinde erkeklerin yaş ortalaması 12,860, minimum değer 5 ve maksimum değer 19 olarak elde edilmiş olup basıklık ve çarpıklık değeri 0,066 ve - 0,287 olarak elde edilmiş ve normal dağılıma uymaktadır. Her bir bağımsız değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 35'te sunulmuştur.

Çalışmamızda kullandığımız ölçüm isimlerini şekillerde daha kolay gösterebilmek için her birisi için kod adı oluşturulmuştur. Oluşturulan kod adları Tablo 36'da verilmiştir.

Tablo 36. Türetilmiş veri parametrelerinin kod adları

Kod adı	Gerçek isimlendirme	Kod adı	Gerçek isimlendirme
B7	D3 açısı	B24	11 lineer/4 lineer
B8	D4 açısı	B25	11 lineer/2 lineer
B9	D5 açısı	B26	21 lineer/11 lineer
B10	K3 açısı	B27	21 lineer/13 lineer
B11	K4 açısı	B28	2 lineer/4 lineer
B12	K5 açısı	B29	21 lineer/2 lineer
B13	AÜK3 açısı	B30	3 lineer/2 lineer
B14	AÜK4 açısı	B31	3 lineer/4 lineer
B15	AÜK5 açısı	B32	3 lineer/13 lineer
B16	20 lineer/1 lineer	B33	21 lineer/3 lineer
B17	12 lineer/11 lineer	B34	21 lineer/4 lineer
B18	12 lineer/13 lineer	B35	13 lineer/11 lineer
B19	12 lineer/2 lineer	B36	13 lineer/4 lineer
B20	12 lineer/4 lineer	B37	13 lineer/2 lineer
B21	12 lineer/3 lineer	B38	15 lineer/14 lineer
B22	21 lineer/12 lineer	B39	15 lineer/16 lineer
B23	11 lineer/3 lineer	B40	15 lineer/5 lineer
B41	15 lineer/7 lineer	B74	23 lineer/9 lineer
B42	15 lineer/6 lineer	B75	23 lineer/10 lineer
B43	22 lineer/15 lineer	B76	19 lineer/17 lineer
B44	14 lineer/6 lineer	B77	19 lineer/10 lineer
B45	14 lineer/7 lineer	B78	19 lineer/8 lineer
B46	14 lineer/5 lineer	B79	23 lineer/19 lineer
B47	22 lineer/14 lineer	B80	21 lineer/AH3 lineer
B48	5 lineer/7 lineer	B81	PH3 lineer/UW3 lineer
B49	22 lineer/5 lineer	B82	PH3 lineer/LW3 lineer
B50	6 lineer/5 lineer	B83	H3 lineer/UW3 lineer
B51	6 lineer/7 lineer	B84	H3 lineer/LW3 lineer
B52	6 lineer/16 lineer	B85	AH3 lineer/UW3 lineer
B53	22 lineer/6 lineer	B86	AH3 lineer/LW3 lineer
B54	22 lineer/7 lineer	B87	21 lineer/H3 lineer
B55	16 lineer/14 lineer	B88	21 lineer/PH3 lineer
B56	16 lineer/7 lineer	B89	22 lineer /AH4 lineer
B57	16 lineer/5 lineer	B90	PH4 lineer/UW4 lineer
B58	22 lineer/16 lineer	B91	PH4 lineer/LW4 lineer
B59	18 lineer/17 lineer	B92	H4 lineer/UW4 lineer
B60	18 lineer/19 lineer	B93	H4 lineer/LW4 lineer
B61	18 lineer/8 lineer	B94	AH4 lineer/UW4 lineer
B62	18 lineer/10 lineer	B95	AH4 lineer/LW4 lineer
B63	18 lineer/9 lineer	B96	22 lineer/H4 lineer
B64	23 lineer/18 lineer	B97	22 lineer/PH4 lineer
B65	17 lineer/9 lineer	B98	23 lineer/AH5 lineer
B66	17 lineer/10 lineer	B99	PH5 lineer/UW5 lineer
B67	17 lineer/8 lineer	B100	PH5 lineer/LW5 lineer
B68	23 lineer/17 lineer	B101	H5 lineer/UW5 lineer
B69	8 lineer/10 lineer	B102	H5 lineer/LW5 lineer
B70	23 lineer/8 lineer	B103	AH5 lineer/UW5 lineer
B71	9 lineer/8 lineer	B104	AH5 lineer/LW5 lineer
B72	9 lineer/10 lineer	B105	23 lineer/H5 lineer
B73	9 lineer/19 lineer	B106	23 lineer/PH5 lineer

Tablo 37. Türetilmiş veri erkek datasetine ait doğrusallık istatistikleri

Ölçümler	Erkek		Ölçümler	Erkek	
	Tolerance	VIF		Tolerance	VIF
11 lineer/2 lineer	0	8682,33	14 lineer/6 lineer	0	5531,87
11 lineer/3 lineer	0	7637,62	14 lineer/7 lineer	0	5369,42
11 lineer/4 lineer	0	5624,65	15 lineer/14 lineer	0,007	152,48
12 lineer/11 lineer	0,007	148,51	15 lineer/16 lineer	0,007	148,36
12 lineer/13 lineer	0,009	106,38	15 lineer/5 lineer	0	2158,68
12 lineer/2 lineer	0	4857,54	15 lineer/6 lineer	0	4789,71
12 lineer/3 lineer	0	5820,68	15 lineer/7 lineer	0	4105,75
12 lineer/4 lineer	0	5998,60	16 lineer/14 lineer	0,004	225,40
13 lineer/11 lineer	0,004	236,62	16 lineer/5 lineer	0,001	1599,12
13 lineer/2 lineer	0	2364,46	16 lineer/7 lineer	0	10967,97
13 lineer/4 lineer	0	30892,31	17 lineer/10 lineer	0	132895506632,47
14 lineer/5 lineer	0	10086,77	17 lineer/8 lineer	0	22471,03
17 lineer/9 lineer	0	6348,71	3 lineer/13 lineer	0,005	186,33
18 lineer/10 lineer	0	3247,88	3 lineer/2 lineer	0,004	277,96
18 lineer/17 lineer	0,006	178,42	3 lineer/4 lineer	0,003	373,29
18 lineer/19 lineer	0,006	158,45	5 lineer/7 lineer	0,002	587,10
18 lineer/8 lineer	0	2588,98	6 lineer/16 lineer	0,004	284,16
18 lineer/9 lineer	0	5412,32	6 lineer/5 lineer	0,003	329,65
19 lineer/10 lineer	0	4226,92	6 lineer/7 lineer	0,002	421,59
19 lineer/17 lineer	0,004	238,90	8 lineer/10 lineer	0,002	411,40
19 lineer/8 lineer	0	3725,27	9 lineer/10 lineer	0,003	375,36
2 lineer/4 lineer	0,002	415,08	9 lineer/19 lineer	0,004	223,60
20 lineer/1 lineer	0,373	2,68	9 lineer/8 lineer	0,005	187,45
21 lineer/11 lineer	0	14836,99	AH3 lineer/LW3 lineer	0	3891,90
21 lineer/12 lineer	0,003	360,55	AH3 lineer/UW3 lineer	0	30588,06
21 lineer/13 lineer	0	2949,82	AH4 lineer/LW4 lineer	0,001	1879,68
21 lineer/2 lineer	0,001	1278,86	AH4 lineer/UW4 lineer	0	19469,01
21 lineer/3 lineer	0,001	1798,93	AH5 lineer/LW5 lineer	0	4245,69
21 lineer/4 lineer	0,001	1854,75	AH5 lineer/UW5 lineer	0	26276,63
21 lineer/AH3 lineer	0	3343,56	AÜK3 açısı	0,001	1443,37
21 lineer/H3 lineer	0,001	1353,52	AÜK4 açısı	0,001	935,13
21 lineer/PH3 lineer	0,002	456,36	AÜK5 açısı	0,001	1282,06
22 lineer /AH4 lineer	0	8376,20	D3 açısı	0,001	1441,54
22 lineer/14 lineer	0	29970,48	D4 açısı	0,001	1637,22
22 lineer/15 lineer	0,003	372,88	D5 açısı	0,001	1672,34
22 lineer/16 lineer	0	7476,50	H3 lineer/LW3 lineer	0	17308,40
22 lineer/5 lineer	0,001	885,73	H3 lineer/UW3 lineer	0,003	319,06
22 lineer/6 lineer	0,001	1849,38	H4 lineer/LW4 lineer	0	13307,88
22 lineer/7 lineer	0,001	1452,85	H4 lineer/UW4 lineer	0,005	209,25
22 lineer/H4 lineer	0,001	1381,13	H5 lineer/LW5 lineer	0	9196,34
22 lineer/PH4 lineer	0,002	439,87	H5 lineer/UW5 lineer	0	7711,95
23 lineer/10 lineer	0,001	944,07	K3 açısı	0,003	291,46
23 lineer/17 lineer	0	31020,78	K4 açısı	0,002	414,84
23 lineer/18 lineer	0,003	343,92	K5 açısı	0,005	208,23
23 lineer/19 lineer	0	5743,15	PH3 lineer/LW3 lineer	0	146386413285,29
23 lineer/8 lineer	0,001	1052,45	PH3 lineer/UW3 lineer	0,001	1564,65
23 lineer/9 lineer	0,001	1630,01	PH4 lineer/LW4 lineer	0	159235752643,96
23 lineer/AH5 lineer	0	5863,86	PH4 lineer/UW4 lineer	0	2159,14
23 lineer/H5 lineer	0,001	1244,29	PH5 lineer/LW5 lineer	0	5353,10
23 lineer/PH5 lineer	0,002	602,34	PH5 lineer/UW5 lineer	0	7184,84

Türetilmiş veri seti içerisinde yer alan bağımsız değişkenler arasındaki çoklu bağlantı problemi incelendiğinde elde edilen VIF değerleri çok yüksek olarak elde edilmiş olup tolerans değerleri de çok düşük olarak elde edilmiştir (Tablo 37). 20 lineer/1 lineer parametresinin VIF değeri 10'dan düşük olarak bulunmuştur. Genel itibari ile türetilmiş veri setinde çoklu bağlantı probleminin olduğu görülmektedir.

Tablo 38. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge, lasso ve elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

	Ridge	Lasso	Elastik net
Lambda	0,04298	0,0000009	0,0000018
D3 açısı	-0,015	-0,019	-0,013
D4 açısı	-0,018	-0,024	-0,013
D5 açısı	-0,023	-0,022	-0,016
K3 açısı	-0,019	-0,019	-0,013
K4 açısı	-0,050	-0,084	-0,040
K5 açısı	-0,039	-0,038	-0,030
AÜK3 açısı	-0,007	-0,042	-0,003
AÜK4 açısı	-0,021	0,035	-0,008
AÜK5 açısı	-0,017	-0,034	-0,013
20 lineer/1 lineer	12,329	13,170	11,884
12 lineer/11 lineer	0,441	1,019	0,546
12 lineer/13 lineer	1,209	1,393	1,066
12 lineer/2 lineer	0,845	0,552	0,793
12 lineer/4 lineer	0,300	0,403	0,665
12 lineer/3 lineer	1,146	0,046	1,036
21 lineer/12 lineer	-1,617	-2,585	-0,835
11 lineer/3 lineer	1,218	2,211	1,112
11 lineer/4 lineer	0,508	0,410	0,494
11 lineer/2 lineer	0,883	3,359	1,041
21 lineer/11 lineer	5,722	46,746	9,755
21 lineer/13 lineer	-0,146	-16,870	-2,002
2 lineer/4 lineer	0,010	0,720	0,406
21 lineer/2 lineer	-1,800	-13,153	-2,467
3 lineer/2 lineer	-0,442	0,304	-0,637
3 lineer/4 lineer	0,810	0,401	0,555
3 lineer/13 lineer	-1,060	-1,399	-0,904
21 lineer/3 lineer	-0,607	-3,223	-0,417
21 lineer/4 lineer	1,003	15,116	2,770
13 lineer/11 lineer	-1,958	-2,497	-1,496
13 lineer/4 lineer	-0,195	-1,557	-0,241
13 lineer/2 lineer	-0,400	-0,254	-0,241
15 lineer/14 lineer	-3,506	-5,885	-3,051
15 lineer/16 lineer	-0,706	-0,764	-0,486
15 lineer/5 lineer	0,020	2,496	0,587
15 lineer/7 lineer	0,965	-0,271	0,563
15 lineer/6 lineer	1,324	1,446	0,833
22 lineer/15 lineer	-2,835	-5,056	-1,614
14 lineer/6 lineer	0,528	3,153	0,577
14 lineer/7 lineer	0,228	1,908	0,351
14 lineer/5 lineer	-0,292	-8,626	-1,319
22 lineer/14 lineer	4,685	-27,768	-1,545
5 lineer/7 lineer	-4,043	-10,885	-3,657
22 lineer/5 lineer	-1,360	7,746	0,675
6 lineer/5 lineer	3,194	0,642	2,284
6 lineer/7 lineer	1,814	6,783	2,345
6 lineer/16 lineer	-0,301	-0,577	-0,305
22 lineer/6 lineer	0,262	-6,263	-0,779
22 lineer/7 lineer	1,991	0,611	0,906

Tablo 38 (Devam). Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge, lasso ve elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

Lambda	Ridge	Lasso	Elastik net
16 lineer/14 lineer	-0,733	-1,374	-0,897
16 lineer/7 lineer	0,017	-5,505	-0,743
16 lineer/5 lineer	-1,423	-0,033	-0,599
22 lineer/16 lineer	-0,404	-11,670	-1,429
18 lineer/17 lineer	-4,632	-6,309	-3,903
18 lineer/19 lineer	0,557	0,798	0,457
18 lineer/8 lineer	1,825	3,704	1,347
18 lineer/10 lineer	-0,158	-0,357	-0,056
18 lineer/9 lineer	1,397	2,023	0,968
23 lineer/18 lineer	1,656	0,065	1,016
17 lineer/9 lineer	-0,182	-0,653	-0,014
17 lineer/10 lineer	-1,193	-3,419	-0,896
17 lineer/8 lineer	0,756	1,092	0,638
23 lineer/17 lineer	5,743	89,879	15,904
8 lineer/10 lineer	2,348	3,846	2,202
23 lineer/8 lineer	3,983	-2,096	1,579
9 lineer/8 lineer	-1,977	-0,892	-1,877
9 lineer/10 lineer	2,022	1,807	1,495
9 lineer/19 lineer	-0,354	-0,573	-0,263
23 lineer/9 lineer	0,933	-2,096	0,2
23 lineer/10 lineer	-3,798	7,038	-0,614
19 lineer/17 lineer	-4,018	-5,388	-3,18
19 lineer/10 lineer	0,634	-2,819	-0,059
19 lineer/8 lineer	0,74	2,351	0,688
23 lineer/19 lineer	-3,641	-14,925	-3,774
21 lineer/AH3 lineer	-1,055	14,117	1,921
PH3 lineer/UW3 lineer	-0,445	-0,352	-0,132
PH3 lineer/LW3 lineer	0,508	0,289	0,476
H3 lineer/UW3 lineer	0,126	1,33	0,422
H3 lineer/LW3 lineer	0,958	-1,243	0,522
AH3 lineer/UW3 lineer	0,067	-3,344	-0,419
AH3 lineer/LW3 lineer	0,904	3,473	1,055
21 lineer/H3 lineer	-1,134	-11,184	-1,715
21 lineer/PH3 lineer	5,863	-22,44	-0,455
22 lineer /AH4 lineer	-1,021	8,382	1,079
PH4 lineer/UW4 lineer	-2,314	-5,3	-1,954
PH4 lineer/LW4 lineer	0,228	0,797	0,187
H4 lineer/UW4 lineer	-0,303	-1,008	-0,206
H4 lineer/LW4 lineer	2,56	4,594	1,999
AH4 lineer/UW4 lineer	-1,063	3,483	0,009
AH4 lineer/LW4 lineer	1,582	5,667	1,702
22 lineer/H4 lineer	-0,723	0,689	0
22 lineer/PH4 lineer	5,139	38,271	8,248
23 lineer/AH5 lineer	-4,882	0,754	-2,117
PH5 lineer/UW5 lineer	-1,626	-1,052	-0,884
PH5 lineer/LW5 lineer	-1,193	-1,799	-0,657
H5 lineer/UW5 lineer	-0,147	-3,026	-0,495
H5 lineer/LW5 lineer	0,976	4,267	1,224
AH5 lineer/UW5 lineer	-0,401	-1,142	-0,296
AH5 lineer/LW5 lineer	0,642	2,635	0,85
23 lineer/H5 lineer	1,03	5,697	1,314
23 lineer/PH5 lineer	2,834	-77,428	-9,998
C	24,747	35,15	20,007
df	100	100	100
L1 Norm	172,507	648,206	168,53
R-squared	0,744	0,758	0,738
AIC	0,864	0,85	0,87

Ridge model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,04298 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 172,507 ve determinasyon katsayısı 0,744 olarak elde edilmiştir (Tablo 38, Tablo 38 (Devam)).

Lasso model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,0000009 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 648,206 ve determinasyon katsayısı 0,758 olarak elde edilmiştir. Modelde 100 bağımsız değişkenin tamamı yer almaktadır (Tablo 38, Tablo 38 (Devam)).

Elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,0000018 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 168,530 ve determinasyon katsayısı 0,738 olarak elde edilmiştir. Modelde 100 bağımsız değişkenin tamamı yer almaktadır (Tablo 38, Tablo 38 (Devam)).

Tablo 39. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge, Lasso ve elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları

	Lambda	TestSet Means	TrainSet Means	TestSet Errors	TrainSet Errors
Ridge	0,04298	2,982	2,368	0,292	0,024
Lasso	0,0000009	2,881	2,229	0,251	0,020
Elastik net	0,0000018	2,969	2,396	0,289	0,024

Ridge model sonucunda ortalama minimum hata 0,04298 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,982, eğitim veri setine ait hata ortalaması 2,368, test veri setine ait standart hata değeri 0,292 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,024 olarak elde edilmiştir (Tablo 39).

Lasso model sonucunda ortalama minimum hata 0,0000009 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,881, eğitim veri setine ait hata ortalaması 2,229, test veri setine ait standart hata değeri 0,251 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,020 olarak elde edilmiştir (Tablo 39).

Elastik net model sonucunda ortalama minimum hata 0,0000018 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,969, eğitim veri setine ait hata ortalaması 2,396, test veri setine ait standart hata değeri 0,289 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,024 olarak elde edilmiştir (Tablo 39).

Sefalometrik radyografilerde yaptığımız sefalometrik ölçümlerden servikal vertebra iskelet yaşı elde edilirken ilk aşamada türetilmiş veri erkek datasetinden iskelet yaşı elde edilmesinde kullanılabilecek en etkili parametrelerin seçimi için Tablo 38’de her bir regresyon modelinin katsayıları değerlendirilmiştir. Her bir regresyon modelinde en yüksek katsayılarla sahip 8’er tane parametre seçilmiştir. İkincil analizde seçilen 24 parametrenin eliminasyonu için; her üç regresyon modelinde ortak olarak bulunan parametrelere (21/11 lineer, 22/PH4 lineer, 23/17 lineer) ek olarak, Elastik Net ve Ridge regresyon modellerinde ortak olan 20/1 lineer, Lasso ve Ridge regresyon modellerinde ortak olan 21/PH3 lineer ve 22/14 lineer, Lasso ve Elastik Net regresyon modellerinde ortak olan 23/PH5 lineer ve son olarak Ridge regresyon modelinde bulunan 23/AH5 lineer parametreleri seçilmiştir. Sonuç olarak ikincil analiz için parametreler; 20/1 lineer, 21/11 lineer, 21/PH3 lineer, 22/14 lineer, 22/PH4 lineer, 23/17 lineer, 23/AH5 lineer, 23/PH5 lineer olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada türetilmiş veri erkek datasetinde, belirlenen bu 8 parametre üzerinden servikal vertebra iskelet yaşı elde edilmiştir.

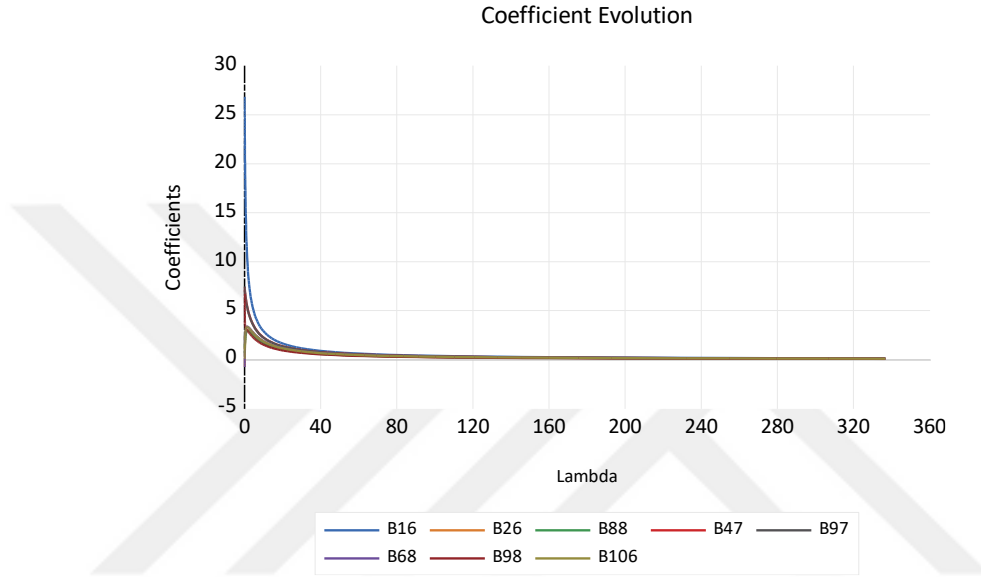
Tablo 40. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge, lasso ve elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

	Ridge	Lasso	Elastik net
Lambda	0,04885	0,0001813	0,0000016
20 lineer/1 lineer	26,278	27,388	25,838
21 lineer/11 lineer	-0,366	0,000	-0,089
21 lineer/PH3 lineer	0,711	0,000	0,643
22 lineer/14 lineer	7,372	4,972	7,353
22 lineer/PH4 lineer	7,407	9,140	7,374
23 lineer/17 lineer	-0,073	0,000	0,244
23 lineer/AH5 lineer	5,943	5,697	5,610
23 lineer/PH5 lineer	0,506	0,000	0,714
C	8,989	9,017	9,007
df	8	4	8
L1 Norm	57,646	56,215	56,872
R-squared	0,428	0,428	0,427
AIC	0,621	0,596	0,621

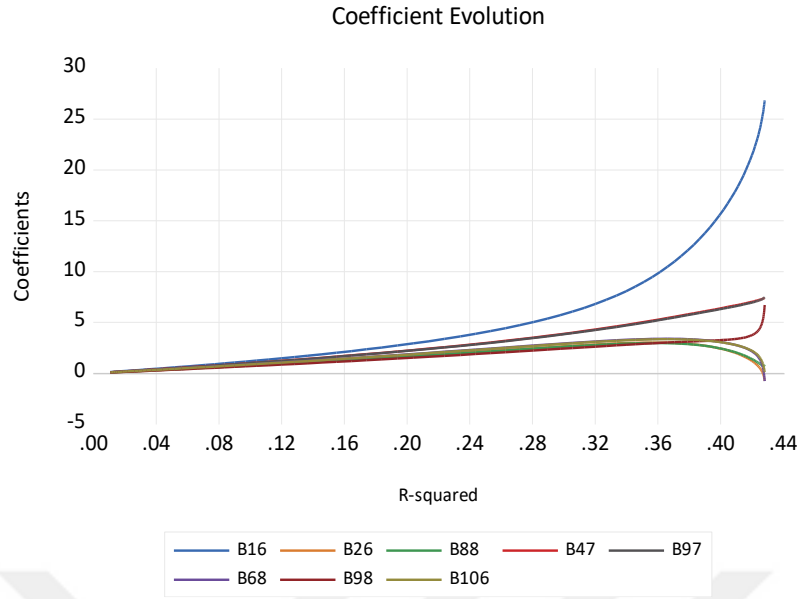
Ridge regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,04885 lambda değerinde elde edilmiştir (Tablo 40, Şekil 49). Modele 8 bağımsız değişkeninin tamamı yer almakta olup bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %42,77 oranında açıklanmaktadır (Tablo 40, Şekil 50). L1 norm değeri 57,646 ve AIC (Akaike Bilgi

Kriteri) değeri 0,621 olarak elde edilmiştir. Ridge modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

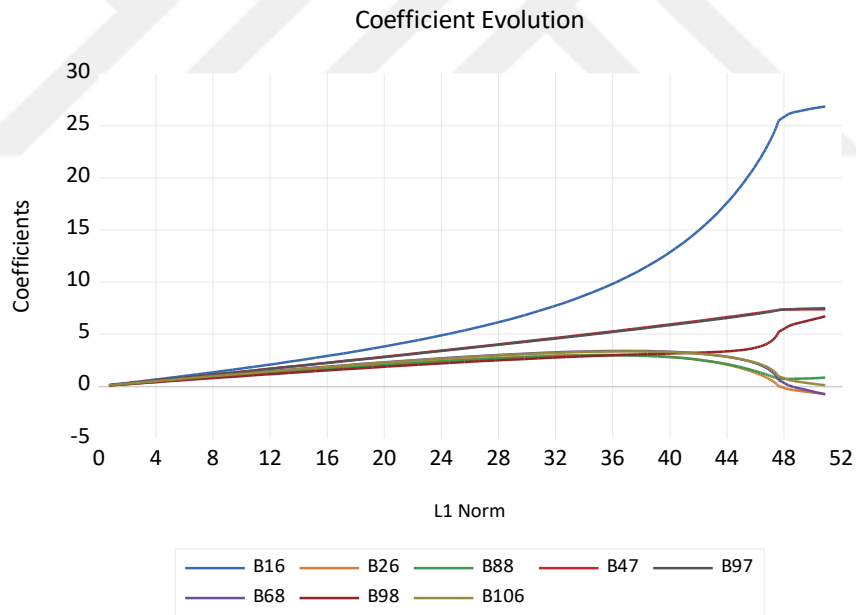
Servikal vertebra iskelet yaşı=26,278*20 lineer/1 lineer - 0,366*21 lineer/11 lineer+ 0,711*21 lineer/PH3 lineer+ 7,372*22 lineer/14 lineer+ 7,407*22 lineer/PH4 lineer - 0,073*23 lineer/17 lineer+ 5,943*23 lineer/AH5 lineer+ 0,506*23 lineer/PH5 lineer+ 8,989



Şekil 49. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 50. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

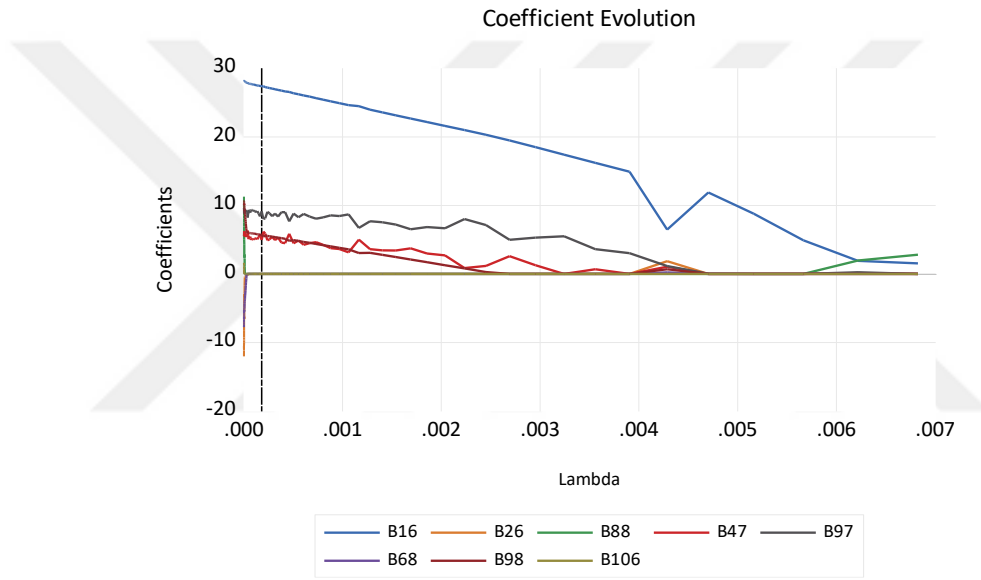


Şekil 51. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

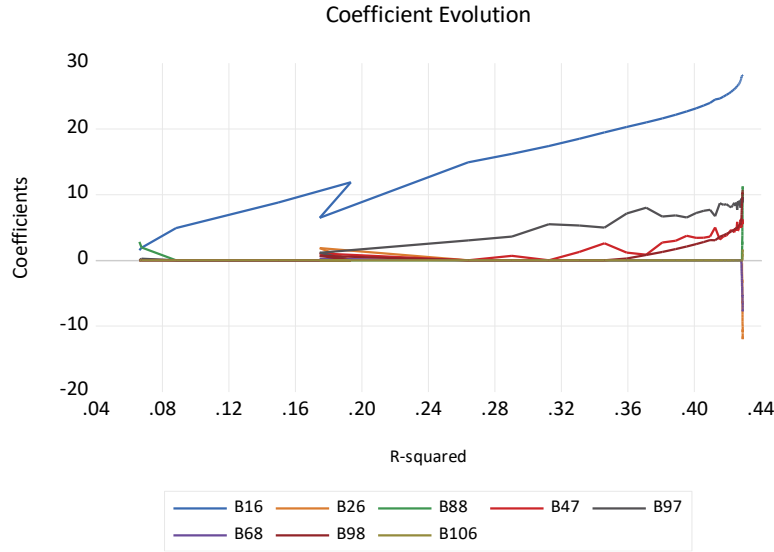
Lasso regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,0001813 lambda değerinde elde edilmiştir (Tablo 40, Şekil 52). Modele 4 bağımsız değişkeninin kat sayısı 0'dan farklı olmakla birlikte 21 lineer/11 lineer, 21 lineer/PH3 lineer, 23 lineer/17 lineer ve 23 lineer/PH5 lineer parametresinin beta katsayısı 0

olarak elde edilmiştir. Bu değişkenlerin modele bir katkısı olmadığı için beta katsayısı model tarafından sıfırlanmıştır. Bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %42,79 oranında açıklanmaktadır (Tablo 40, Şekil 53). L1 norm değeri 56,215 ve AIC (Akaike Bilgi Kriteri) değeri 0,596 olarak elde edilmiştir (Tablo 40, Şekil 54). Lasso modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

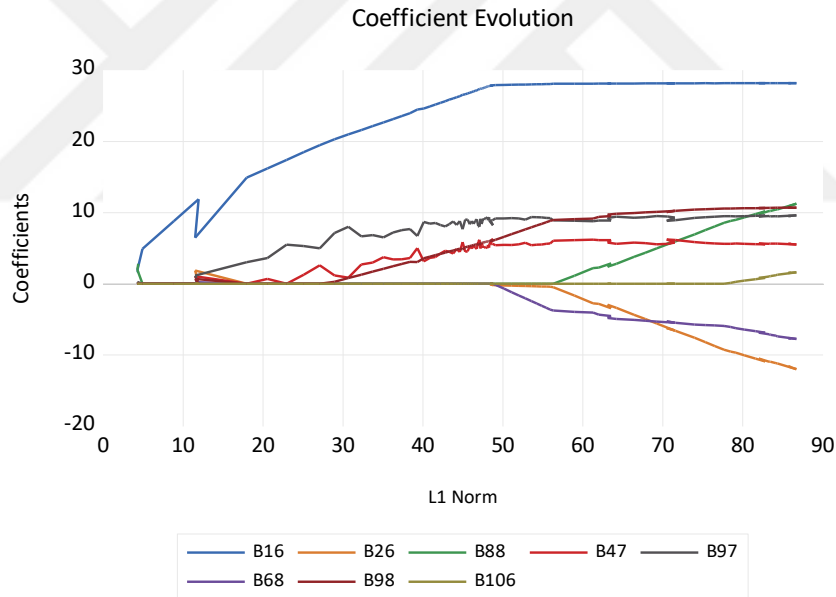
Servikal vertebra iskelet yaşı = $27,388 \cdot 20 \text{ lineer} / 1 \text{ lineer} + 0 \cdot 21 \text{ lineer} / 11 \text{ lineer} + 0 \cdot 21 \text{ lineer} / \text{PH3 lineer} + 4,972 \cdot 22 \text{ lineer} / 14 \text{ lineer} + 9,14 \cdot 22 \text{ lineer} / \text{PH4 lineer} + 0 \cdot 23 \text{ lineer} / 17 \text{ lineer} + 5,697 \cdot 23 \text{ lineer} / \text{AH5 lineer} + 0 \cdot 23 \text{ lineer} / \text{PH5 lineer} + 9,017$



Şekil 52. Türetilmiş veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 53. Türetilmiş veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

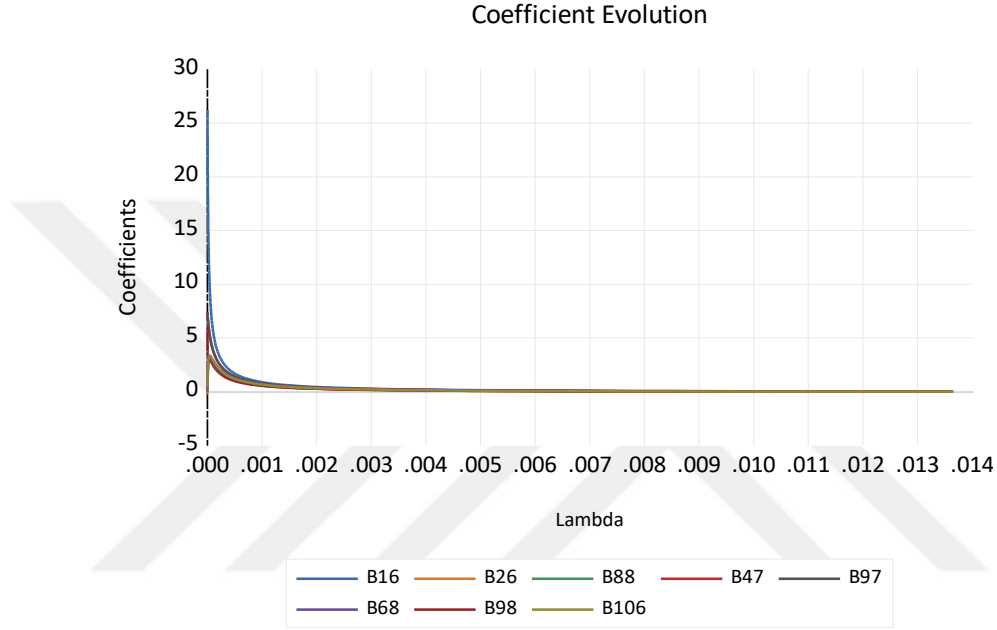


Şekil 54. Türetilmiş veri erkek datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

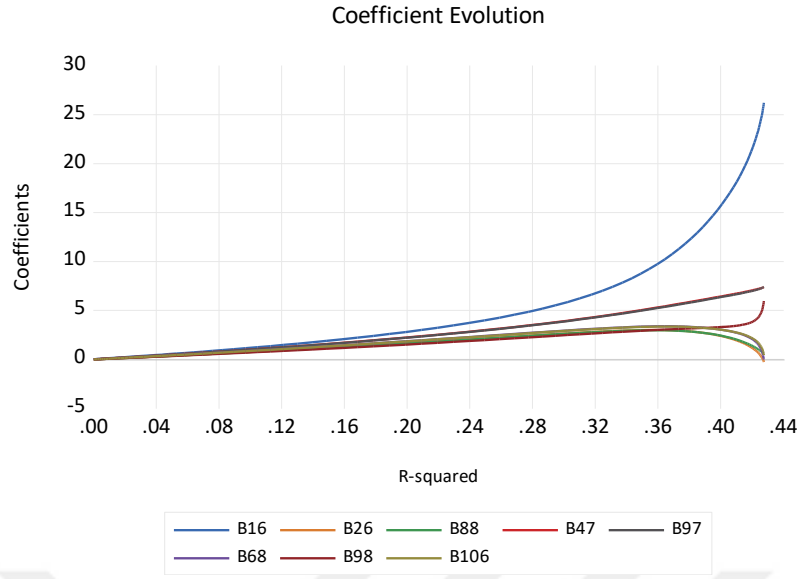
Elastik net regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,0000016 lambda değerinde elde edilmiştir (Tablo 40, Şekil 55). Modele 8 bağımsız değişkeninin tamamı yer almakta olup bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %42,73 oranında açıklanmaktadır (Tablo 40, Şekil 56). L1 norm değeri 56,872 ve AIC (Akaike

Bilgi Kriteri) değeri 0,621 olarak elde edilmiştir (Tablo 40, Şekil 57). Elastik net modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

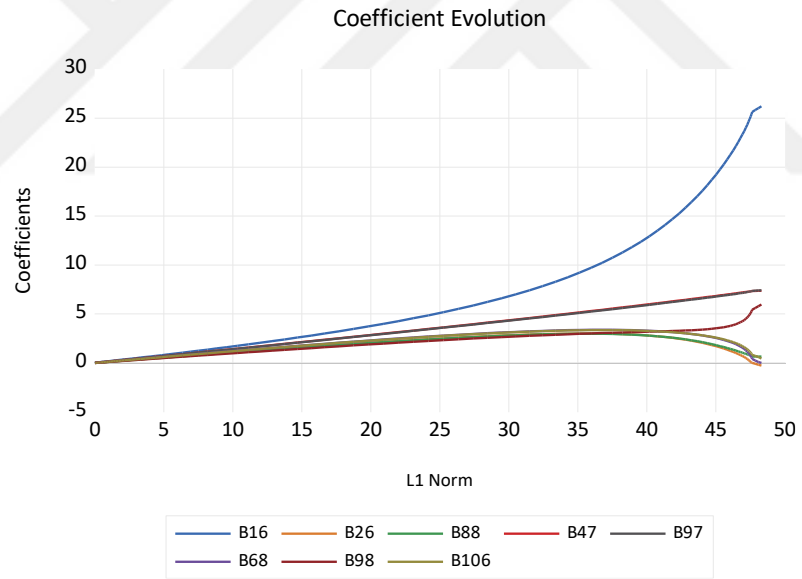
Servikal vertebra iskelet yaşı = $25,838 \cdot 20 \text{ lineer} / 1 \text{ lineer} - 0,089 \cdot 21 \text{ lineer} / 11 \text{ lineer} + 0,643 \cdot 21 \text{ lineer} / \text{PH3 lineer} + 7,353 \cdot 22 \text{ lineer} / 14 \text{ lineer} + 7,374 \cdot 22 \text{ lineer} / \text{PH4 lineer} + 0,244 \cdot 23 \text{ lineer} / 17 \text{ lineer} + 5,61 \cdot 23 \text{ lineer} / \text{AH5 lineer} + 0,714 \cdot 23 \text{ lineer} / \text{PH5 lineer} + 9,007$



Şekil 55. Türetilmiş veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 56. Türetilmiş veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

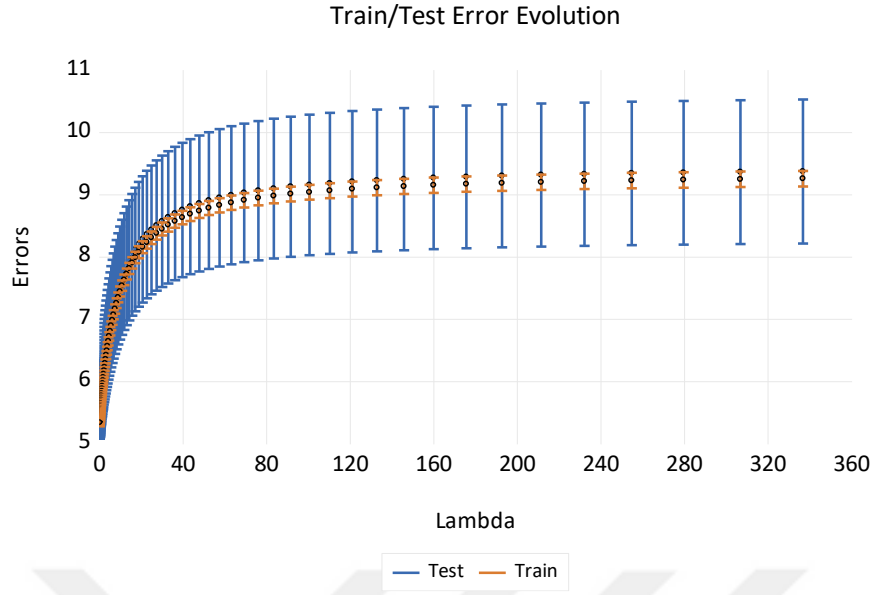


Şekil 57. Türetilmiş veri erkek datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

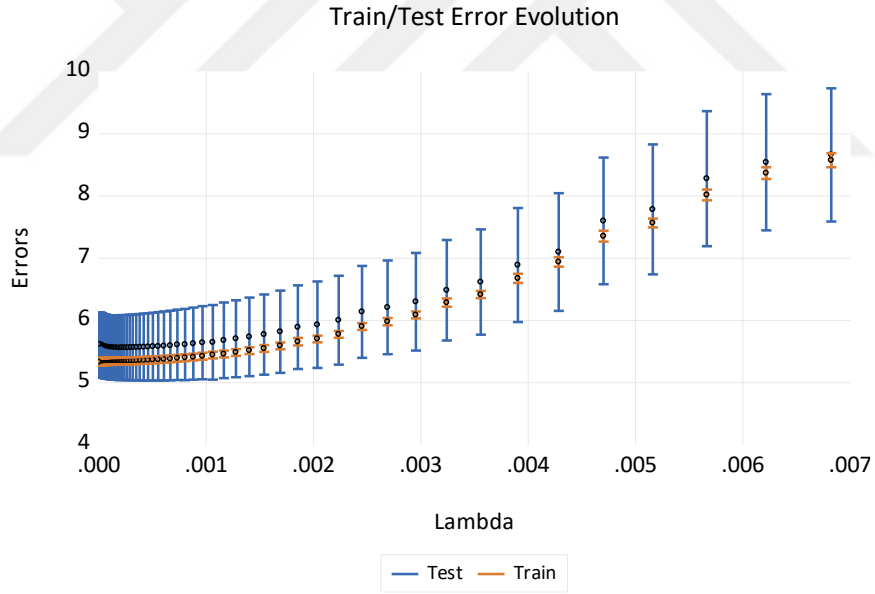
Tablo 41. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları

	Lambda	TestSet Means	TrainSet Means	TestSet Errors	TrainSet Errors
Ridge	0,04885	5,601	5,347	0,512	0,055
Lasso	0,0001813	5,561	5,347	0,516	0,055
Elastik net	0,0000016	5,601	5,347	0,511	0,055

Model sonuçlarında lambda değerine karşılık gelen ortalama hata değerleri hesaplanmıştır ve ridge modeline ait minimum hata 0,04885 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (Tablo 41, Şekil 58). Test veri setine ait ortalama hata değeri 5,601, eğitim veri setine ait hata ortalaması 5,347, test veri setine ait standart hata değeri 0,512 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,055 olarak elde edilmiştir. Lasso modeline ait minimum hata 0,0001813 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (Tablo 41, Şekil 59). Test veri setine ait ortalama hata değeri 5,561, eğitim veri setine ait hata ortalaması 5,347, test veri setine ait standart hata değeri 0,516 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,055 olarak elde edilmiştir. Elastik net modeline ait minimum hata 0,0000016 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (Tablo 41, Şekil 60). Test veri setine ait ortalama hata değeri 5,601, eğitim veri setine ait hata ortalaması 5,347, test veri setine ait standart hata değeri 0,511 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,055 olarak elde edilmiştir.



Şekil 58. Türetilmiş veri erkek datasetinde Ridge model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği



Şekil 59. Türetilmiş veri erkek datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği



Şekil 60. Türetilmiş veri erkek datasetinde Elastik net model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği

4.2.4. Çalışma çıktısı 2 türetilmiş veri kız datasetine ait bulgular

Tablo 42. Türetilmiş veri kız datasetine ait tanımlayıcı istatistikler

Ölçümler	n	Ortalama	S. sapma	Ortanca	Minimum	Maksimum	Basıklık	Çarpıklık
iskeletyas	465	13,572	2,723	13,5	6,83	18	-0,63	-0,373
D3 açısı	465	99,629	11,696	99,289	73,33	136,53	-0,341	0,29
D4 açısı	465	103,351	10,883	102,499	78,16	136,09	-0,549	0,287
D5 açısı	465	105,189	10,421	104,255	82,11	135,8	-0,567	0,225
K3 açısı	465	42,932	8,433	42,731	20,08	66,59	-0,397	0,017
K4 açısı	465	39,278	7,274	39,226	21,42	57,11	-0,763	-0,038
K5 açısı	465	37,251	6,524	37,128	20,39	54,4	-0,512	0,087
AÜK3 açısı	465	6,852	5,677	7,2	-17,07	20,94	0,504	-0,297
AÜK4 açısı	465	7,972	4,816	8,164	-7,88	25,46	0,098	0,03
AÜK5 açısı	465	8,491	4,525	8,637	-4,37	24,25	-0,082	-0,007
20 lineer/1 lineer	465	0,115	0,05	0,115	0	0,24	-0,492	0,067
12 lineer/11 lineer	465	0,885	0,071	0,881	0,68	1,17	0,785	0,463
12 lineer/13 lineer	465	1,012	0,139	0,998	0,72	1,52	0,302	0,611
12 lineer/2 lineer	465	0,833	0,146	0,825	0,45	1,24	-0,292	0,193
12 lineer/4 lineer	465	0,781	0,134	0,781	0,43	1,13	-0,305	-0,051
12 lineer/3 lineer	465	0,765	0,112	0,763	0,43	1,05	-0,21	-0,149
21 lineer/12 lineer	465	0,114	0,062	0,109	0	0,34	0,057	0,478
11 lineer/3 lineer	465	0,868	0,13	0,876	0,43	1,2	-0,051	-0,285
11 lineer/4 lineer	465	0,887	0,16	0,892	0,41	1,25	-0,418	-0,191
11 lineer/2 lineer	465	0,945	0,167	0,939	0,45	1,45	-0,002	0,152
21 lineer/11 lineer	465	0,098	0,05	0,096	0	0,26	-0,214	0,284
21 lineer/13 lineer	465	0,109	0,051	0,108	0	0,29	-0,118	0,121
2 lineer/4 lineer	465	0,941	0,081	0,941	0,61	1,27	2,364	-0,198
21 lineer/2 lineer	465	0,096	0,055	0,09	0	0,27	-0,214	0,484
3 lineer/2 lineer	465	1,087	0,083	1,073	0,92	1,46	2,764	1,26
3 lineer/4 lineer	465	1,019	0,065	1,013	0,81	1,35	1,519	0,449
3 lineer/13 lineer	465	1,359	0,318	1,322	0,86	2,82	2,834	1,278
21 lineer/3 lineer	465	0,087	0,048	0,084	0	0,25	-0,341	0,345

Tablo 42 (Devam). Türetilmiş veri Kız datasetine ait tanımlayıcı istatistikler

Ölçümler	n	Ortalama	S. sapma	Ortanca	Minimum	Maksimum	Basıklık	Çarpıklık
21 lineer/4 lineer	465	0,09	0,051	0,084	0	0,25	-0,415	0,397
13 lineer/11 lineer	465	0,888	0,118	0,88	0,54	1,34	0,492	0,231
13 lineer/4 lineer	465	0,79	0,187	0,777	0,35	1,43	-0,48	0,196
13 lineer/2 lineer	465	0,845	0,215	0,811	0,36	1,46	-0,258	0,423
15 lineer/14 lineer	465	0,886	0,077	0,879	0,69	1,21	0,984	0,619
15 lineer/16 lineer	465	1,054	0,137	1,047	0,78	1,61	0,637	0,622
15 lineer/5 lineer	465	0,779	0,122	0,766	0,44	1,26	0,264	0,207
15 lineer/7 lineer	465	0,754	0,126	0,758	0,42	1,11	-0,212	-0,074
15 lineer/6 lineer	465	0,756	0,111	0,757	0,43	1,09	-0,117	-0,128
22 lineer/15 lineer	465	0,102	0,063	0,097	0	0,31	0,035	0,615
14 lineer/6 lineer	465	0,859	0,137	0,867	0,48	1,19	-0,244	-0,301
14 lineer/7 lineer	465	0,857	0,156	0,866	0,46	1,26	-0,394	-0,197
14 lineer/5 lineer	465	0,884	0,15	0,887	0,47	1,37	0,009	0,026
22 lineer/14 lineer	465	0,088	0,051	0,085	0	0,25	-0,139	0,464
5 lineer/7 lineer	465	0,969	0,072	0,966	0,75	1,22	0,231	0,125
22 lineer/5 lineer	465	0,08	0,05	0,075	0	0,28	-0,014	0,545
6 lineer/5 lineer	465	1,03	0,057	1,025	0,86	1,2	0,069	0,24
6 lineer/7 lineer	465	0,996	0,061	0,989	0,82	1,24	0,788	0,489
6 lineer/16 lineer	465	1,429	0,308	1,372	0,93	2,62	0,246	0,785
22 lineer/6 lineer	465	0,077	0,047	0,074	0	0,25	-0,179	0,485
22 lineer/7 lineer	465	0,078	0,05	0,073	0	0,26	-0,163	0,545
16 lineer/14 lineer	465	0,85	0,099	0,848	0,59	1,33	0,755	0,227
16 lineer/7 lineer	465	0,73	0,165	0,72	0,37	1,15	-0,857	0,115
16 lineer/5 lineer	465	0,755	0,169	0,737	0,37	1,24	-0,449	0,349
22 lineer/16 lineer	465	0,101	0,055	0,101	0	0,28	-0,201	0,329
18 lineer/17 lineer	465	0,891	0,087	0,882	0,66	1,26	1,407	0,614
18 lineer/19 lineer	465	1,066	0,134	1,05	0,79	1,67	0,937	0,718
18 lineer/8 lineer	465	0,773	0,119	0,771	0,39	1,14	0,038	0,046
18 lineer/10 lineer	465	0,723	0,117	0,733	0,35	1,07	-0,161	-0,129
18 lineer/9 lineer	465	0,754	0,112	0,762	0,37	1,04	-0,031	-0,283
23 lineer/18 lineer	465	0,098	0,062	0,092	0	0,43	1,351	0,817
17 lineer/9 lineer	465	0,853	0,144	0,864	0,46	1,22	-0,317	-0,237
17 lineer/10 lineer	465	0,819	0,151	0,828	0,45	1,21	-0,497	-0,116
17 lineer/8 lineer	465	0,874	0,152	0,88	0,48	1,39	-0,271	0,053
23 lineer/17 lineer	465	0,084	0,049	0,082	0	0,29	0,233	0,496
8 lineer/10 lineer	465	0,938	0,081	0,932	0,63	1,44	3,627	0,707
23 lineer/8 lineer	465	0,075	0,047	0,07	0	0,22	-0,468	0,47
9 lineer/8 lineer	465	1,027	0,065	1,02	0,82	1,33	1,34	0,552
9 lineer/10 lineer	465	0,959	0,057	0,956	0,81	1,21	1,316	0,672
9 lineer/19 lineer	465	1,451	0,309	1,41	0,89	2,75	0,961	0,872
23 lineer/9 lineer	465	0,073	0,046	0,068	0	0,2	-0,518	0,441
23 lineer/10 lineer	465	0,071	0,046	0,067	0	0,21	-0,396	0,502
19 lineer/17 lineer	465	0,844	0,094	0,844	0,56	1,18	0,09	0,161
19 lineer/10 lineer	465	0,69	0,147	0,68	0,36	1,08	-0,599	0,216
19 lineer/8 lineer	465	0,738	0,156	0,727	0,37	1,33	0,068	0,412
23 lineer/19 lineer	465	0,099	0,056	0,098	0	0,36	0,456	0,489
21 lineer/AH3 lineer	465	0,113	0,053	0,115	0	0,29	-0,139	0,126
PH3 lineer/UW3 lineer	465	0,969	0,168	0,964	0,46	1,46	-0,002	0,065
PH3 lineer/LW3 lineer	465	0,887	0,16	0,892	0,41	1,25	-0,418	-0,191
H3 lineer/UW3 lineer	465	0,949	0,171	0,94	0,52	1,42	-0,274	0,144
H3 lineer/LW3 lineer	465	0,869	0,164	0,868	0,47	1,36	-0,572	-0,055
AH3 lineer/UW3 lineer	465	0,844	0,204	0,82	0,36	1,41	-0,379	0,28
AH3 lineer/LW3 lineer	465	0,772	0,192	0,762	0,33	1,61	-0,108	0,252

Tablo 42 (Devam). Türetilmiş veri kız datasetine ait tanımlayıcı istatistikler

Ölçümler	n	Ortalama	S. sapma	Ortanca	Minimum	Maksimum	Basıklık	Çarpıklık
21 lineer/H3 lineer	465	0,101	0,05	0,1	0	0,26	-0,27	0,229
21 lineer/PH3 lineer	465	0,1	0,051	0,096	0	0,27	-0,202	0,301
22 lineer /AH4 lineer	465	0,104	0,056	0,104	0	0,29	-0,203	0,327
PH4 lineer/UW4 lineer	465	0,908	0,155	0,914	0,48	1,37	-0,042	-0,056
PH4 lineer/LW4 lineer	465	0,857	0,156	0,866	0,46	1,26	-0,394	-0,197
H4 lineer/UW4 lineer	465	0,871	0,152	0,868	0,48	1,33	-0,3	0,059
H4 lineer/LW4 lineer	465	0,823	0,158	0,834	0,47	1,27	-0,561	-0,045
AH4 lineer/UW4 lineer	465	0,764	0,168	0,758	0,37	1,23	-0,578	0,227
AH4 lineer/LW4 lineer	465	0,722	0,169	0,71	0,36	1,16	-0,868	0,114
22 lineer/H4 lineer	465	0,092	0,052	0,09	0	0,25	-0,376	0,365
22 lineer/PH4 lineer	465	0,089	0,051	0,086	0	0,25	-0,155	0,472
23 lineer/AH5 lineer	465	0,101	0,057	0,1	0	0,37	0,45	0,475
PH5 lineer/UW5 lineer	465	0,892	0,157	0,901	0,48	1,39	-0,312	0,001
PH5 lineer/LW5 lineer	465	0,819	0,151	0,828	0,45	1,21	-0,497	-0,116
H5 lineer/UW5 lineer	465	0,85	0,143	0,853	0,5	1,28	-0,327	0,097
H5 lineer/LW5 lineer	465	0,781	0,143	0,782	0,44	1,2	-0,571	0,024
AH5 lineer/UW5 lineer	465	0,741	0,156	0,736	0,37	1,3	-0,176	0,314
AH5 lineer/LW5 lineer	465	0,68	0,15	0,669	0,35	1,1	-0,619	0,209
23 lineer/H5 lineer	465	0,088	0,051	0,086	0	0,31	0,091	0,447
23 lineer/PH5 lineer	465	0,084	0,049	0,083	0	0,29	0,26	0,504

Kızların iskelet yaş ortalaması 13,572, minimum değer 6,830 ve maksimum değer 18 olarak elde edilmiştir. Basıklık ve çarpıklık değerleri -0,630; -0,373 olarak elde edilmiş olup normal dağılmaktadır. Diğer değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 42 ve Tablo 42 (Devam)'da detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 43. Türetilmiş veri kız datasetine ait doğrusallık istatistikleri

Ölçümler	Kız		Ölçümler	Kız	
	Tolerance	VIF		Tolerance	VIF
11 lineer/2 lineer	0	6557,46	15 lineer/16 lineer	0,004	234,84
11 lineer/3 lineer	0	5108,69	15 lineer/5 lineer	0	3543,60
11 lineer/4 lineer	0	4590,27	15 lineer/6 lineer	0	3986,33
12 lineer/11 lineer	0,006	164,63	15 lineer/7 lineer	0	3428,89
12 lineer/13 lineer	0,005	204,42	16 lineer/14 lineer	0,005	218,15
12 lineer/2 lineer	0	3371,73	16 lineer/5 lineer	0	2427,18
12 lineer/3 lineer	0	3780,25	16 lineer/7 lineer	0	21156,75
12 lineer/4 lineer	0	4158,25	17 lineer/10 lineer	0	108813733659,81
13 lineer/11 lineer	0,002	447,39	17 lineer/8 lineer	0	4877,65
13 lineer/2 lineer	0	2541,26	17 lineer/9 lineer	0	4874,02
13 lineer/4 lineer	0	10651,95	18 lineer/10 lineer	0	2939,45
14 lineer/5 lineer	0	5958,12	18 lineer/17 lineer	0,006	155,44
14 lineer/6 lineer	0	5401,84	18 lineer/19 lineer	0,006	180,42
14 lineer/7 lineer	0	118673959888,97	18 lineer/8 lineer	0	2263,65
15 lineer/14 lineer	0,006	175,50	18 lineer/9 lineer	0	3911,72
19 lineer/10 lineer	0	21900,23	5 lineer/7 lineer	0,002	540,24
19 lineer/17 lineer	0,005	193,48	6 lineer/16 lineer	0,003	298,13
19 lineer/8 lineer	0,001	1502,76	6 lineer/5 lineer	0,004	259,98
2 lineer/4 lineer	0,003	327,43	6 lineer/7 lineer	0,002	570,07

Tablo 43 (Devam). Türetilmiş veri kız datasetine ait doğrusallık istatistikleri

Ölçümler	Kız		Ölçümler	Kız	
	Tolerance	VIF		Tolerance	VIF
20 lineer/1 lineer	0,365	2,74	8 lineer/10 lineer	0,003	310,74
21 lineer/11 lineer	0	18421,56	9 lineer/10 lineer	0,003	354,48
21 lineer/12 lineer	0,003	318,87	9 lineer/19 lineer	0,004	256,18
21 lineer/13 lineer	0	2427,16	9 lineer/8 lineer	0,005	194,84
21 lineer/2 lineer	0,001	899,19	AH3 lineer/LW3 lineer	0,001	1324,21
21 lineer/3 lineer	0,001	1325,36	AH3 lineer/UW3 lineer	0	30205,48
21 lineer/4 lineer	0,001	1179,23	AH4 lineer/LW4 lineer	0	3126,70
21 lineer/AH3 lineer	0	3129,42	AH4 lineer/UW4 lineer	0	45882,42
21 lineer/H3 lineer	0,001	1593,70	AH5 lineer/LW5 lineer	0	2580,14
21 lineer/PH3 lineer	0,002	524,71	AH5 lineer/UW5 lineer	0	40442,49
22 lineer /AH4 lineer	0	6465,49	AÜK3 açısı	0,001	768,36
22 lineer/14 lineer	0	23796,21	AÜK4 açısı	0,001	1033,15
22 lineer/15 lineer	0,003	342,86	AÜK5 açısı	0,001	849,52
22 lineer/16 lineer	0	5647,48	D3 açısı	0,001	1768,38
22 lineer/5 lineer	0,001	1030,79	D4 açısı	0,001	1989,43
22 lineer/6 lineer	0,001	1560,96	D5 açısı	0,001	1771,21
22 lineer/7 lineer	0,001	1254,73	H3 lineer/LW3 lineer	0	12891,79
22 lineer/H4 lineer	0,001	1277,57	H3 lineer/UW3 lineer	0,003	344,47
22 lineer/PH4 lineer	0,002	487,27	H4 lineer/LW4 lineer	0	14801,89
23 lineer/10 lineer	0,001	1088,06	H4 lineer/UW4 lineer	0,004	244,47
23 lineer/17 lineer	0	27084,69	H5 lineer/LW5 lineer	0	14740,14
23 lineer/18 lineer	0,005	208,94	H5 lineer/UW5 lineer	0,005	198,87
23 lineer/19 lineer	0	6093,89	K3 açısı	0,004	225,24
23 lineer/8 lineer	0,001	971,21	K4 açısı	0,004	235,57
23 lineer/9 lineer	0,001	1606,51	K5 açısı	0,005	182,27
23 lineer/AH5 lineer	0	6604,17	PH3 lineer/LW3 lineer	0	125081369725,01
23 lineer/H5 lineer	0,001	1205,24	PH3 lineer/UW3 lineer	0,001	1286,25
23 lineer/PH5 lineer	0,002	443,72	PH4 lineer/LW4 lineer	0	3915,69
3 lineer/13 lineer	0,005	207,25	PH4 lineer/UW4 lineer	0,001	1692,19
3 lineer/2 lineer	0,003	286,32	PH5 lineer/LW5 lineer	0	3713,12
3 lineer/4 lineer	0,002	492,24	PH5 lineer/UW5 lineer	0,001	1785,28

Türetilmiş veri seti içinde yer alan bağımsız değişkenler arasındaki çoklu bağlantı problemi incelendiğinde elde edilen VIF değerleri çok yüksek olarak elde edilmiş olup tolerans değerleri de çok düşük olarak elde edilmiştir. 20 lineer/1 lineer parametresinin VIF değeri 10'dan düşük olarak bulunmuştur. Genel itibari ile türetilmiş veri setinde çoklu bağlantı probleminin olduğu görülmektedir (Tablo 43, Tablo 43 (Devam)).

Tablo 44. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge, Lasso, elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

Lambda	Ridge	Lasso	Elastik net
	0,04298	0,0000011	0,0000018
D3 açısı	-0,015	-0,019	-0,013
D4 açısı	-0,018	-0,024	-0,013
D5 açısı	-0,023	-0,021	-0,016
K3 açısı	-0,019	-0,018	-0,013
K4 açısı	-0,05	-0,084	-0,04
K5 açısı	-0,039	-0,038	-0,03
AÜK3 açısı	-0,007	-0,041	-0,003
AÜK4 açısı	-0,021	0,034	-0,008
AÜK5 açısı	-0,017	-0,033	-0,013
20 lineer/1 lineer	12,329	13,164	11,884
12 lineer/11 lineer	0,441	1,023	0,546
12 lineer/13 lineer	1,209	1,384	1,066
12 lineer/2 lineer	0,845	0,546	0,793
12 lineer/4 lineer	0,3	0,417	0,665
12 lineer/3 lineer	1,146	0,048	1,036
21 lineer/12 lineer	-1,617	-2,544	-0,835
11 lineer/3 lineer	1,218	2,192	1,112
11 lineer/4 lineer	0,508	0,404	0,494
11 lineer/2 lineer	0,883	3,34	1,041
21 lineer/11 lineer	5,722	46,632	9,755
21 lineer/13 lineer	-0,146	-16,828	-2,002
2 lineer/4 lineer	0,01	0,725	0,406
21 lineer/2 lineer	-1,8	-13,109	-2,467
3 lineer/2 lineer	-0,442	0,28	-0,637
3 lineer/4 lineer	0,81	0,391	0,555
3 lineer/13 lineer	-1,06	-1,389	-0,904
21 lineer/3 lineer	-0,607	-3,19	-0,417
21 lineer/4 lineer	1,003	15,055	2,77
13 lineer/11 lineer	-1,958	-2,466	-1,496
13 lineer/4 lineer	-0,195	-1,547	-0,241
13 lineer/2 lineer	-0,4	-0,251	-0,241
15 lineer/14 lineer	-3,506	-5,858	-3,051
15 lineer/16 lineer	-0,706	-0,744	-0,486
15 lineer/5 lineer	0,02	2,497	0,587
15 lineer/7 lineer	0,965	-0,27	0,563
15 lineer/6 lineer	1,324	1,415	0,833
22 lineer/15 lineer	-2,835	-4,981	-1,614
14 lineer/6 lineer	0,528	3,125	0,577
14 lineer/7 lineer	0,228	1,89	0,351
14 lineer/5 lineer	-0,292	-8,608	-1,319
22 lineer/14 lineer	4,685	-27,801	-1,545
5 lineer/7 lineer	-4,043	-10,806	-3,657
22 lineer/5 lineer	-1,36	7,729	0,675
6 lineer/5 lineer	3,194	0,63	2,284
6 lineer/7 lineer	1,814	6,753	2,345
6 lineer/16 lineer	-0,301	-0,573	-0,305
22 lineer/6 lineer	0,262	-6,266	-0,779
22 lineer/7 lineer	1,991	0,567	0,906
16 lineer/14 lineer	-0,733	-1,389	-0,897
16 lineer/7 lineer	0,017	-5,496	-0,743
16 lineer/5 lineer	-1,423	-0,013	-0,599
22 lineer/16 lineer	-0,404	-11,624	-1,429

Tablo 44 (Devam). Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge, Lasso, elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

Lambda	Ridge	Lasso	Elastik net
18 lineer/17 lineer	-4,632	-6,254	-3,903
18 lineer/19 lineer	0,557	0,791	0,457
18 lineer/8 lineer	1,825	3,657	1,347
18 lineer/10 lineer	-0,158	-0,343	-0,056
18 lineer/9 lineer	1,397	1,989	0,968
23 lineer/18 lineer	1,656	0,062	1,016
17 lineer/9 lineer	-0,182	-0,639	-0,014
17 lineer/10 lineer	-1,193	-3,383	-0,896
17 lineer/8 lineer	0,756	1,071	0,638
23 lineer/17 lineer	5,743	89,763	15,904
8 lineer/10 lineer	2,348	3,82	2,202
23 lineer/8 lineer	3,983	-2,141	1,579
9 lineer/8 lineer	-1,977	-0,889	-1,877
9 lineer/10 lineer	2,022	1,774	1,495
9 lineer/19 lineer	-0,354	-0,564	-0,263
23 lineer/9 lineer	0,933	-2,1	0,2
23 lineer/10 lineer	-3,798	7,031	-0,614
19 lineer/17 lineer	-4,018	-5,337	-3,18
19 lineer/10 lineer	0,634	-2,82	-0,059
19 lineer/8 lineer	0,74	2,323	0,688
23 lineer/19 lineer	-3,641	-14,842	-3,774
21 lineer/AH3 lineer	-1,055	14,112	1,921
PH3 lineer/UW3 lineer	-0,445	-0,342	-0,132
PH3 lineer/LW3 lineer	0,508	0,283	0,476
H3 lineer/UW3 lineer	0,126	1,329	0,422
H3 lineer/LW3 lineer	0,958	-1,237	0,522
AH3 lineer/UW3 lineer	0,067	-3,341	-0,419
AH3 lineer/LW3 lineer	0,904	3,452	1,055
21 lineer/H3 lineer	-1,134	-11,144	-1,715
21 lineer/PH3 lineer	5,863	-22,515	-0,455
22 lineer /AH4 lineer	-1,021	8,383	1,079
PH4 lineer/UW4 lineer	-2,314	-5,259	-1,954
PH4 lineer/LW4 lineer	0,228	0,78	0,187
H4 lineer/UW4 lineer	-0,303	-0,997	-0,206
H4 lineer/LW4 lineer	2,56	4,54	1,999
AH4 lineer/UW4 lineer	-1,063	3,494	0,009
AH4 lineer/LW4 lineer	1,582	5,632	1,702
22 lineer/H4 lineer	-0,723	0,68	0
22 lineer/PH4 lineer	5,139	38,169	8,248
23 lineer/AH5 lineer	-4,882	0,797	-2,117
PH5 lineer/UW5 lineer	-1,626	-1,031	-0,884
PH5 lineer/LW5 lineer	-1,193	-1,766	-0,657
H5 lineer/UW5 lineer	-0,147	-3,022	-0,495
H5 lineer/LW5 lineer	0,976	4,243	1,224
AH5 lineer/UW5 lineer	-0,401	-1,128	-0,296
AH5 lineer/LW5 lineer	0,642	2,619	0,85
23 lineer/H5 lineer	1,03	5,647	1,314
23 lineer/PH5 lineer	2,834	-77,449	-9,998
C	24,747	34,977	20,007
df	100	100	100
L1 Norm	172,507	646,232	168,53
R-squared	0,744	0,757	0,738
AIC	0,864	0,85	0,87

Ridge model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,04298 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 172,507 ve determinasyon katsayısı 0,744 olarak elde edilmiştir. Modelde 100 bağımsız değişkenin tamamı yer almaktadır (Tablo 44, Tablo 44 Devam).

Lasso model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,0000011 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 646,232 ve determinasyon katsayısı 0,757 olarak elde edilmiştir. Modelde 100 bağımsız değişkenin tamamı yer almaktadır (Tablo 44, Tablo 44 Devam).

Elastik net model sonucunda minimum ortalama hata karesi 0,0000018 lambda değerinde elde edilmiş olup modele ait L1norm değeri 168,530 ve determinasyon katsayısı 0,738 olarak elde edilmiştir. Modelde 100 bağımsız değişkenin tamamı yer almaktadır (Tablo 44, Tablo 44 Devam).

Tablo 45. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge, lasso ve elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları

	Lambda	TestSet Means	TrainSet Means	TestSet Errors	TrainSet Errors
Ridge	0,04298	2,990	2,369	0,372	0,035
Lasso	0,0000011	2,866	2,230	0,351	0,033
Elastik net	0,0000018	2,982	2,397	0,371	0,035

Ridge model sonucuna göre ortalama minimum hata 0,04298 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,990, eğitim veri setine ait hata ortalaması 2,369, test veri setine ait standart hata değeri 0,372 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,035 olarak elde edilmiştir (Tablo 45).

Lasso model sonucunda ortalama minimum hata 0,0000011 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,866, eğitim veri setine ait hata ortalaması 2,230, test veri setine ait standart hata değeri 0,351 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,033 olarak elde edilmiştir (Tablo 45).

Elastik net model sonucunda ortalama minimum hata 0,0000018 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir. Test veri setine ait ortalama hata değeri 2,982, eğitim veri setine ait hata ortalaması 2,397, test veri setine ait standart hata değeri

0,371 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,035 olarak elde edilmiştir (Tablo 45).

Sefalometrik radyografilerde yaptığımız sefalometrik ölçümlerden servikal vertebra iskelet yaşı elde edilirken ilk aşamada türetilmiş veri kız datasetinden iskelet yaşı elde edilmesinde kullanılabilecek en etkili parametrelerin seçimi için Tablo 44’de her bir regresyon modelinin katsayıları değerlendirilmiştir. Her bir regresyon modelinde en yüksek katsayılara sahip 8’er tane parametre seçilmiştir. İkincil analiz için seçilen 24 parametrenin eliminasyonu için; her üç regresyon modelinde ortak olarak bulunan parametrelere (21/11 lineer, 22/PH4 lineer, 23/17 lineer) ek olarak, Elastik Net ve Ridge regresyon modellerinde ortak olan 20/1 lineer, Lasso ve Ridge regresyon modellerinde ortak olan 21/PH3 lineer ve 22/14 lineer, Lasso ve Elastik Net regresyon modellerinde ortak olan 23/PH5 lineer ve son olarak Ridge regresyon modelinde bulunan 23/AH5 lineer parametreleri seçilmiştir. Sonuç olarak ikincil analiz için parametreler; 20/1 lineer, 21/11 lineer, 21/PH3 lineer, 22/14 lineer, 22/PH4 lineer, 23/17 lineer, 23/AH5 lineer, 23/PH5 lineer olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada türetilmiş erkek datasetinde, belirlenen bu 8 parametre üzerinden servikal vertebra iskelet yaşı elde edilmiştir.

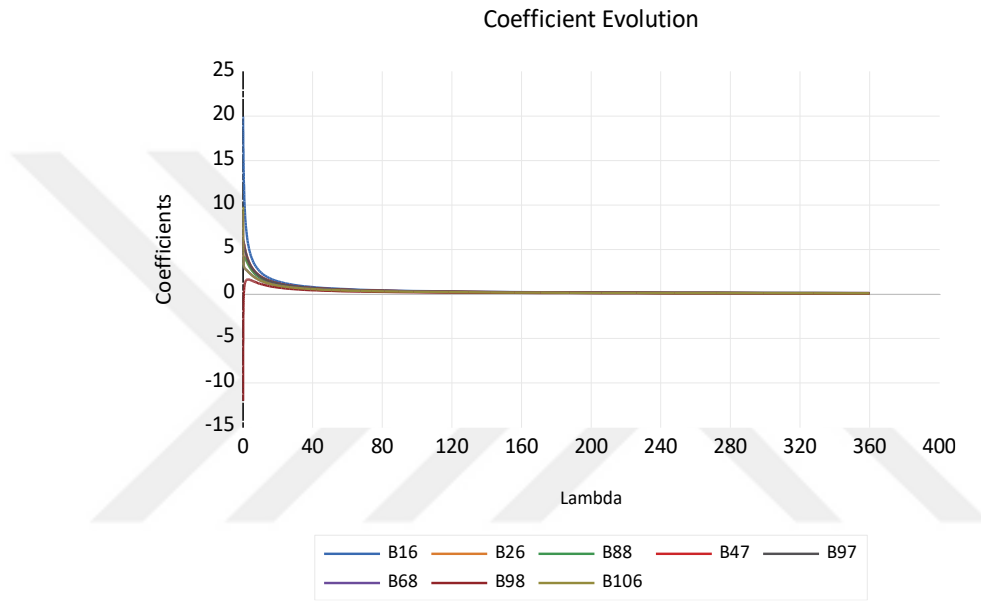
Tablo 46. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge, lasso ve elastik model sonucunda minimum ortalama hata karesine göre elde edilen model sonucu

Lambda	Ridge	Lasso	Elastik net
	0,03599	0,00000496	0,00000088
20 lineer/1 lineer	19,933	21,073	19,179
21 lineer/11 lineer	3,213	3,999	3,343
21 lineer/PH3 lineer	3,006	1,742	3,164
22 lineer/14 lineer	5,517	0,207	5,751
22 lineer/PH4 lineer	6,173	10,705	6,120
23 lineer/17 lineer	9,018	12,508	6,872
23 lineer/AH5 lineer	-12,019	-27,192	-8,032
23 lineer/PH5 lineer	9,798	23,995	7,382
C	9,253	9,274	9,278
df	8	8	8
L1 Norm	77,931	110,696	69,121
R-squared	0,464	0,469	0,460
AIC	0,571	0,565	0,574

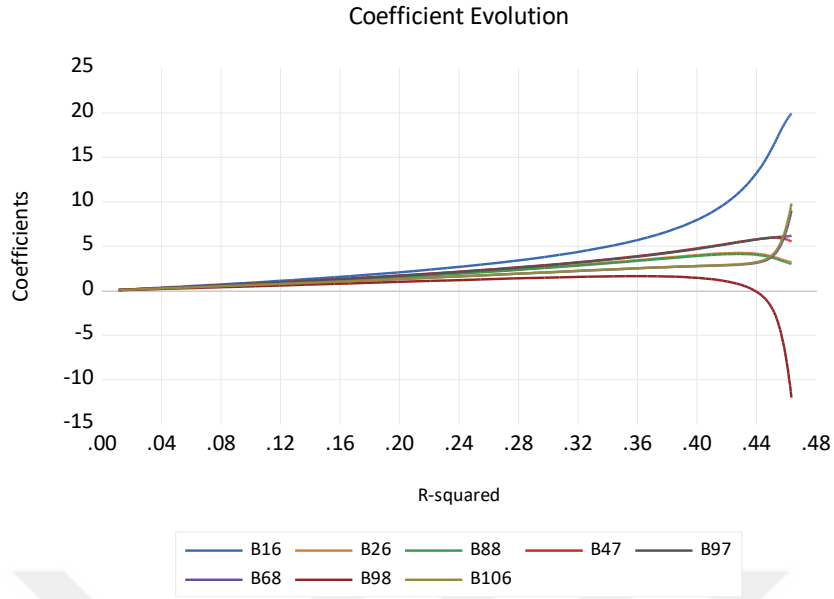
Ridge regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,03599 lambda değerinde elde edilmiştir (Tablo 46, Şekil 61). Modele 8 bağımsız değişkeninin tamamı yer almakta olup bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %46,36 oranında

açıklanmaktadır (Tablo 46, Şekil 62). L1 norm değeri 77,931 ve AIC (Akaike Bilgi Kriteri) değeri 0,571 olarak elde edilmiştir (Tablo 46, Şekil 63). Ridge modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

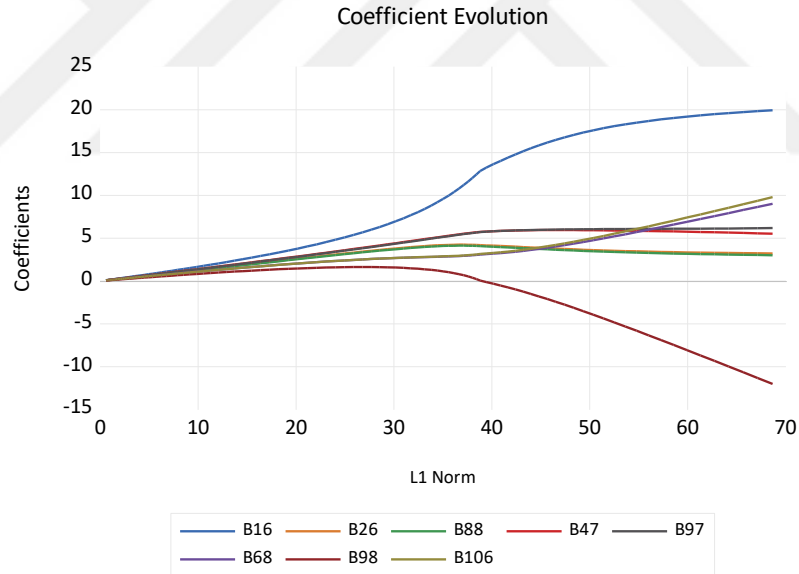
Servikal vertebra iskelet yaşı=19,933*20 lineer/1 lineer+ 3,213*21 lineer/11 lineer+ 3,006*21 lineer/PH3 lineer+ 5,517*22 lineer/14 lineer+ 6,173*22 lineer/PH4 lineer+ 9,018*23 lineer/17 lineer - 12,019*23 lineer/AH5 lineer+ 9,798*23 lineer/PH5 lineer+ 9,253



Şekil 61. Türetilmiş veri kız Ridge regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 62. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

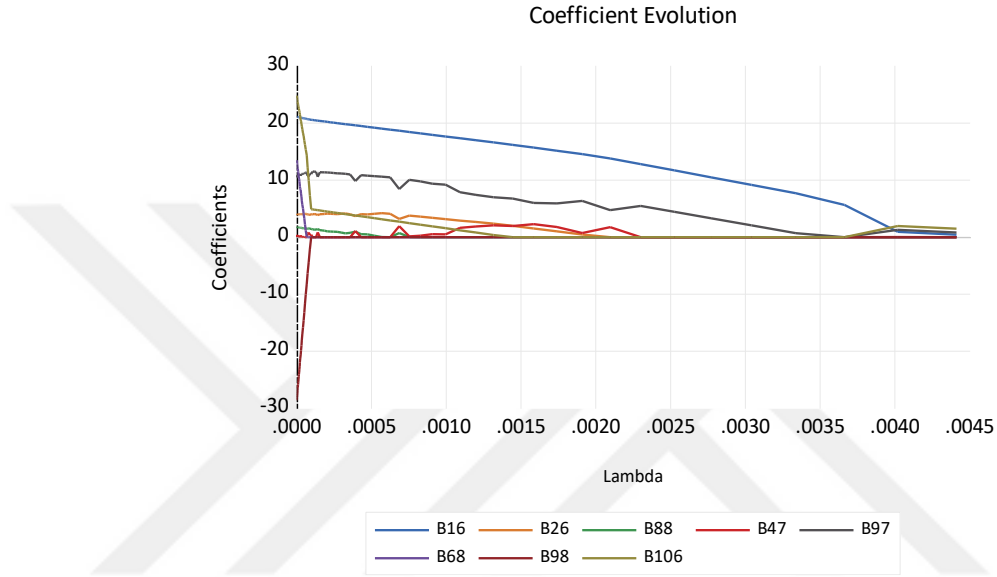


Şekil 63. Türetilmiş veri kız Ridge regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

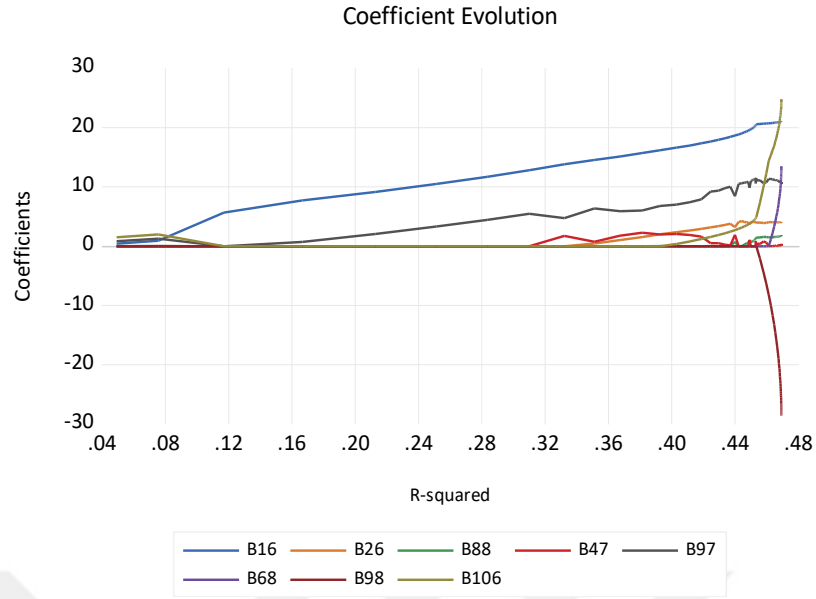
Lasso regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,00000496 lambda değerinde elde edilmiştir (Tablo 46, Şekil 64). Modele 8 bağımsız değişkeninin tamamı yer almakta olup bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %46,92 oranında açıklanmaktadır (Tablo 46, Şekil 65). L1 norm değeri 110,696 ve AIC

(Akaike Bilgi Kriteri) değeri 0,565 olarak elde edilmiştir (Tablo 46, Şekil 66). Lasso modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

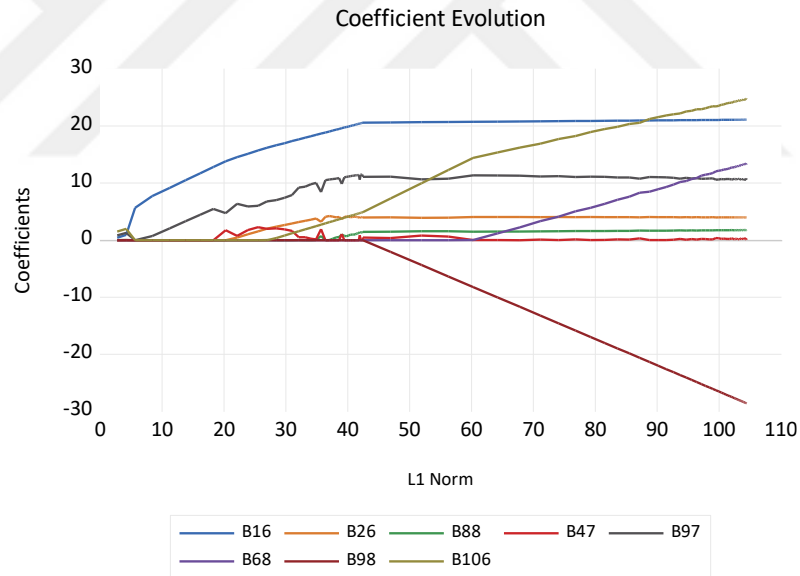
Servikal vertebra iskelet yaşı = $21,073 \cdot 20$ lineer/1 lineer+ $3,999 \cdot 21$ lineer/11 lineer+ $1,742 \cdot 21$ lineer/PH3 lineer+ $0,207 \cdot 22$ lineer/14 lineer+ $10,705 \cdot 22$ lineer/PH4 lineer+ $12,508 \cdot 23$ lineer/17 lineer - $27,192 \cdot 23$ lineer/AH5 lineer+ $23,995 \cdot 23$ lineer/PH5 lineer+ 9,274



Şekil 64. Türetilmiş veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



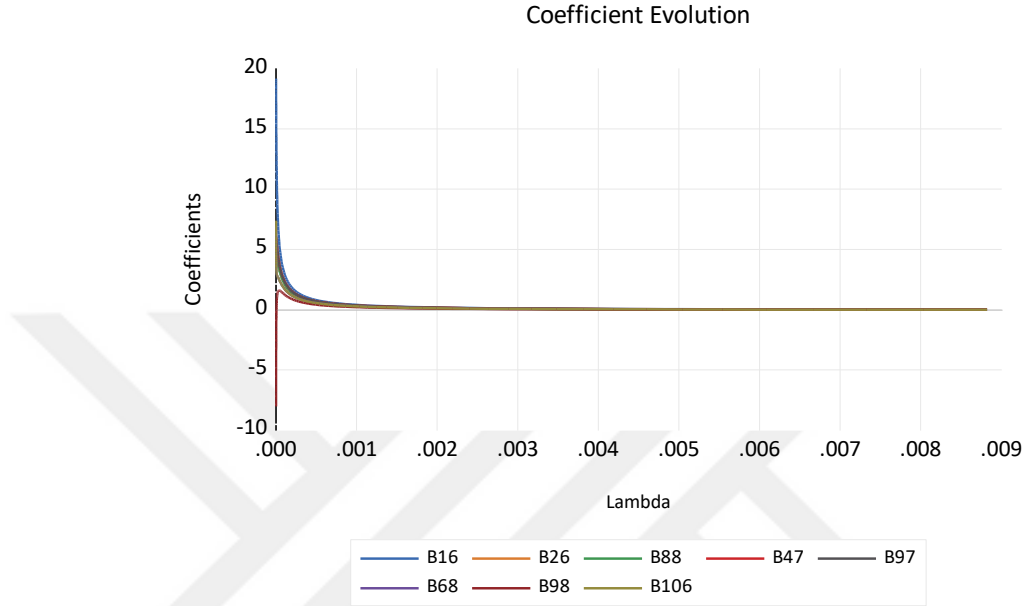
Şekil 65. Türetilmiş veri kız datasetinde Lasso regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



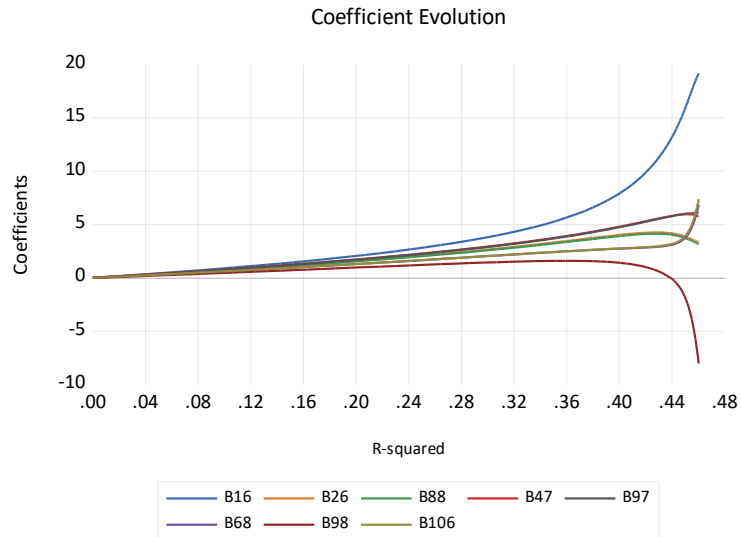
Şekil 66. Türetilmiş veri kız Lasso regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

Elastik net regresyon modelinde en minimum ortalama hata karesi 0,00000088 lambda değerinde elde edilmiştir. Modele 8 bağımsız değişkeninin tamamı yer almakta olup bağımsız değişkenler ile iskelet yaşı %46,03 oranında açıklanmaktadır. L1 norm değeri 69,121 ve AIC (Akaike Bilgi Kriteri) değeri 0,574 olarak elde edilmiştir. Elastik net modeline ait regresyon denklemi ise şu şekildedir;

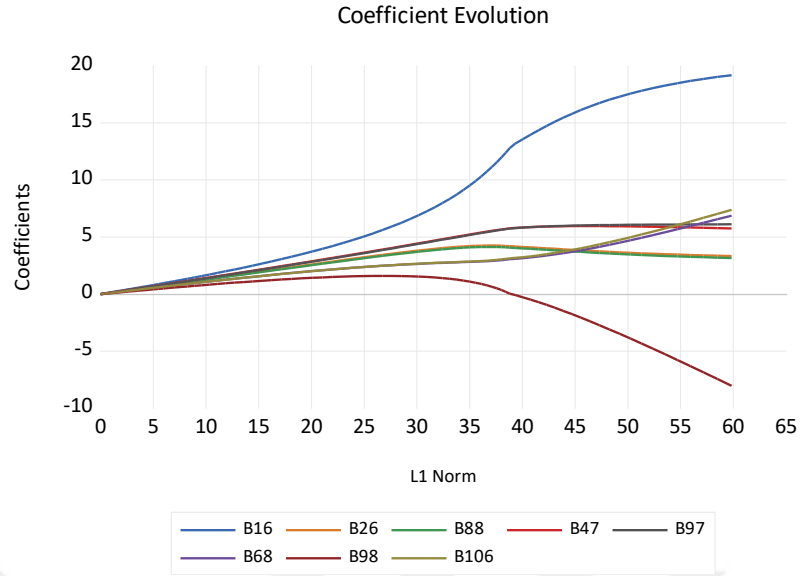
Servikal vertebra iskelet yaşı = $19,179 \cdot 20$ lineer/1 lineer+ $3,343 \cdot 21$ lineer/11 lineer+ $3,164 \cdot 21$ lineer/PH3 lineer+ $5,751 \cdot 22$ lineer/14 lineer+ $6,12 \cdot 22$ lineer/PH4 lineer+ $6,872 \cdot 23$ lineer/17 lineer - $8,032 \cdot 23$ lineer/AH5 lineer+ $7,382 \cdot 23$ lineer/PH5 lineer+ $9,278$



Şekil 67. Türetilmiş veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda lambda değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



Şekil 68. Türetilmiş veri kız datasetinde Elastik net regresyon modeli sonucunda R^2 değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği



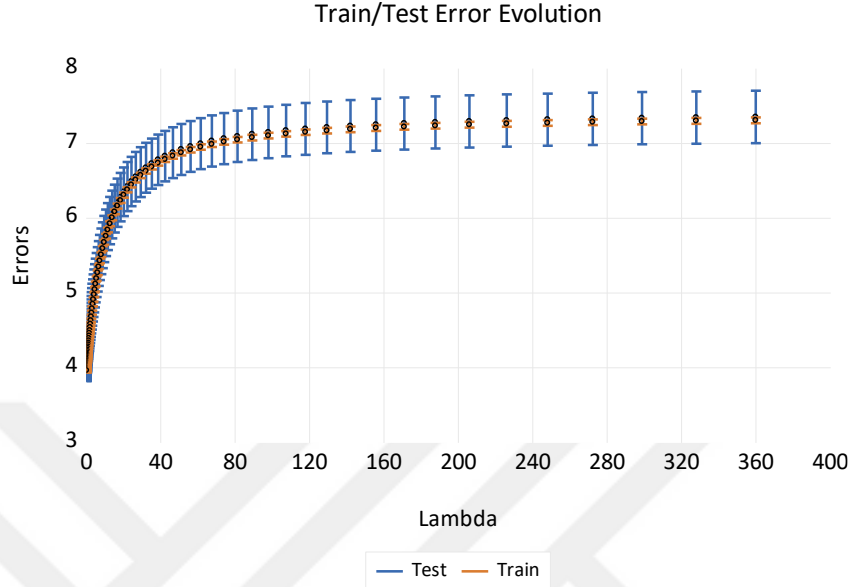
Şekil 69. Türetilmiş veri kız Elastik net regresyon modeli sonucunda L1 Norm değerlerine göre beta katsayılarının değişim grafiği

Tablo 47. Türetilmiş veri kız datasetinde Ridge, lasso, elastik net regresyon sonucuna ait hata sonuçları

	Lambda	TestSet Means	TrainSet Means	TestSet Errors	TrainSet Errors
Ridge	0,03599	4,063	3,963	0,244	0,028
Lasso	0,00000496	4,027	3,921	0,259	0,029
Elastik net	0,00000088	4,077	3,977	0,242	0,028

Model sonuçlarında lambda değerine karşılık gelen ortalama hata değerleri hesaplanmıştır ve ridge modeline ait minimum hata 0,03599 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (Tablo 47, Şekil 70). Test veri setine ait ortalama hata değeri 4,063, eğitim veri setine ait hata ortalaması 3,963, test veri setine ait standart hata değeri 0,244 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,028 olarak elde edilmiştir. Lasso modeline ait minimum hata 0,00000496 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (Tablo 47, Şekil 71). Test veri setine ait ortalama hata değeri 4,027, eğitim veri setine ait hata ortalaması 3,921, test veri setine ait standart hata değeri 0,259 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,029 olarak elde edilmiştir. Elastik net modeline ait minimum hata 0,00000088 lambda hiperparametresinde elde edilmiştir (Tablo 47, Şekil 72). Test veri setine ait ortalama hata değeri 4,077, eğitim veri setine ait hata ortalaması 3,977, test veri setine ait

standart hata değeri 0,242 ve eğitim veri setine ait standart hata değeri 0,028 olarak elde edilmiştir.



Şekil 70. Türetilmiş veri kız datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği



Şekil 71. Türetilmiş veri kız datasetinde Lasso model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği



Şekil 72. Türetilmiş veri kız datasetinde Elastik net model sonucunda eğitim ve test verisinin lambda değerlerine göre hata grafiği

4.2.5. Çalışma çıktısı 2 en iyi model sonuçlarının değerlendirilmesi

Tablo 48. En iyi model sonucunun değerlendirilmesi

Veri		Lambda	df	L1Norm	R-squared	AIC
Ham veri kız	Ridge	0,04913915	8	5,251	0,740	0,294
	Lasso	0,00003718	7	5,143	0,741	0,289
	Elastik net	0,00000113	8	5,207	0,740	0,295
Ham veri erkek	Ridge	0,076210	8	3,229	0,782	0,267
	Lasso	0,000148	6	2,959	0,783	0,254
	Elastik net	0,000002	8	3,236	0,781	0,267
Türetilmiş veri kız	Ridge	0,03599	8	77,931	0,464	0,571
	Lasso	0,00000496	8	110,696	0,469	0,565
	Elastik net	0,00000088	8	69,121	0,460	0,574
Türetilmiş veri erkek	Ridge	0,04885	8	57,646	0,428	0,621
	Lasso	0,0001813	4	56,215	0,428	0,596
	Elastik net	0,0000016	8	56,872	0,427	0,621

En iyi model R^2 değeri en yüksek olan ve AIC değeri en düşük modeldir. Erkekler için en yüksek R^2 değeri 0,783 olarak ve en düşük AIC değeri 0,254 olarak lasso model sonucunda ham veri-erkek veri setinde elde edilmiştir. Kızlarda ise en yüksek R^2 değeri 0,741 olarak ve en düşük AIC değeri 0,289 olarak lasso model sonucunda ham veri-kız veri setinde elde edilmiştir.

5. TARTIŞMA

5.1. Amacın Tartışılması

Ortodontik tedavilerde ideal sonuçlar elde edebilmek için tedavi zamanlaması kritik önem taşır. Bireyin iskelet maturasyon döneminin belirlenmesi ortopedik etkinin elde edilebilmesi, retansiyon protokolünün belirlenmesi ve relapsın önlenmesi için gereklidir(1, 2, 4, 28).

Günümüzde, büyüme gelişim dönemi tespiti için ekstra radyasyon ve maliyete neden olmasına rağmen el-bilek radyografileri altın standart olarak kabul edilmektedir(9, 10). El-bilek radyografilerinin bu dezavantajları nedeniyle büyüme gelişim dönemi tespitinde, ortodontik tedavi öncesi teşhis ve tedavi planlamasında sıklıkla tercih edilen sefalometrik radyografilerin kullanımı gündeme gelmiştir(10).

Nestman ve ark. CVM yönteminin tekrarlanabilirliğini araştırmak için yaptıkları çalışmada, 10-16 yaş aralığında 15'er kişilik kız ve erkek grupları oluşturmuş ve 10 deneyimli ortodontist tarafından CVM evreleri değerlendirilmiştir. Vertebra alt kenarının değerlendirilmesinde gözlemciler arası uyum yüksekken, vertebra gövdesi şeklini belirlemede gözlemciler arası uyum düşük bulunmuştur. Sonuç olarak araştırmacılar CVM yönteminin tekrarlanabilirliğinin düşük olduğunu ve ortodontik tedavi zamanlanması için kesin bir rehber olamayacağını bildirmişlerdir(12).

Gabriel ve ark.'nın yaptıkları çalışmada, 15 kız, 15 erkek bireyde 30 tek, 30 çift (aynı bireyden iki yıl arayla alınmış) lateral sefalomerik radyografi alınmış ve ortalama 19,2 yıllık tecrübeye sahip 10 ortodontist tarafından Baccetti ve ark.'nın(2) CVM yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Çalışma sonucunda CVM yönteminin tekrarlanabilirliğinin düşük olduğunu ve klinik bir kılavuz olarak önermediklerini bildirmişlerdir(11).

Servikal vertebralardan maturasyon dönemi tespiti için yapılan sınıflamaların güvenilirliği ve tekrarlanabilirliğinin düşük olması nedeniyle daha objektif bir değerlendirme sağlanması amacıyla morfometrik yöntemlerle iskelet yaşı tespiti için yeni yöntemler geliştirilmiştir.

Mito ve ark. 2002 yılında 176 bireyin C3 ve C4 vertebraları üzerinde yaptıkları lineer ölçümleri oranlayarak, iskelet yaşını elde ettikleri bir regresyon formülü $(-0.20+6.20 \times AH_3/PH_3+5.90 \times AH_4/PH_4+4.74 \times AH_4/PH_4)$ geliştirmişlerdir.

Oluşturdukları bu formülle elde ettikleri iskelet yaşının TW2 metoduyla elde edilen iskelet yaşı kadar güvenilir olduğunu bildirmişlerdir(13).

Alhadlag ve ark.'nın 122 Suudi Arabistanlı erkek bireyin lateral sefalometrik ve el-bilek radyografileri üzerinden yaptıkları çalışmada, servikal vertebra iskelet yaşını belirlemek için regresyon analizi ile formül oluşturulmuş ve formülün geçerliliği test etmek için GP ve TW yöntemleri ile formül arasındaki korelasyona bakılmıştır. Çalışmanın sonucunda elde ettikleri iskelet yaşı ile GP ve TW3 yöntemi ile hesaplanan iskelet yaşı arasında yüksek korelasyon bulmuşlardır(14).

Caldas ve ark., Brezilyalı 128 kız 110 erkekten oluşan çalışmasında C3 ve C4 vertebraalarında ölçümler yapmışlar ve oluşturdukları oranlarla kız ve erkekler için iki ayrı regresyon formülü geliştirmişlerdir. Oluşturdukları formülle TW3 yöntemi ile elde edilen iskelet yaşı ve kronolojik yaş arasındaki ilişkiyi incelediklerinde istatistiksel olarak bir fark olmadığı, elde ettikleri formülün Brezilya popülasyonunda kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır(15).

San roman ve ark. 5-18 yaş aralığındaki 958 bireyin servikal vertebralarını gövde şekli (altı aşama), yükseklik (dört aşama), ve alt kenarındaki konkavite (altı aşama) değişimlerini incelemiş ve iskelet maturasyonunu belirleyebilecekleri yeni bir regresyon denklemi geliştirmişlerdir.

Erkekler için iskeletsel maturasyon dönemi: $-0,838 + 0,771$ konkavite aşaması+ $0,840$ yükseklik aşaması+ $0,229$ şekil aşaması

Kızlar için iskeletsel maturasyon dönemi: $0,029 + 0,914$ konkavite aşaması+ $0,745$ yükseklik aşaması

Buldukları bu yeni yöntemin el-bilek radyografileri yerine kullanılabileceğini (erkelerde $r=0,79$ kızlarda $r=0,85$) bildirmişlerdir(88).

İskelet yaşının belirlenmesinde servikal vertebraların morfolojik ve morfometrik yöntemlerle değerlendirilmesinin başarılı sonuçlar verdiğini bildiren birçok çalışma (10, 13-15, 88, 107, 108) bulunmasına rağmen Beit ve ark.(16) iskelet yaşını tahmin etmede vertebra morfolojilerini temel alan yöntemlerin yetersiz olduğunu bildirmişlerdir. Beit ve ark. yaptığı çalışmada 6-18 yaş aralığındaki 730 bireyin el-bilek iskelet yaşını GP yöntemine göre belirlemişlerdir. Ayrıca; C2, C3, C4 vertebraalarının alt kenarındaki konkavite, C3 ve C4 vertebra gövdelerinin anterior

yükseklikleri ile alt-üst kenar arasındaki açıyı ölçerek kız ve erkeklerde iskelet yaşı tayini için regresyon denklemleri oluşturmuşlardır.

Kızlar için servikal vertebra iskelet yaşı: $4,559 + 9,897 \times C2 \text{ konkavite} + 6,866 \times C3 \text{ konkavite} + 10,066 \times C4 \text{ konkavite} + 6,193 \times C3 \text{ anterior yükseklik} + 2,844 \times C4 \text{ anterior yükseklik}$ (R^2 : 0,671)

Erkekler için servikal vertebra iskelet yaşı: $5,242 + 5,758 \times C2 \text{ konkavite} + 6,629 \times C3 \text{ konkavite} + 9,176 \times C4 \text{ konkavite} + 2,953 \times C3 \text{ anterior yükseklik} + 4,306 \times C4 \text{ anterior yükseklik}$ (R^2 : 0,693)

GP yöntemi ile elde edilen iskelet yaşı ile servikal vertebra iskelet yaşı ve kronolojik yaş karşılaştırılmıştır. GP yönteminden elde edilen iskelet yaşı ile kronolojik yaş arasındaki korelasyon, GP yöntemi ile servikal vertebra iskelet yaşı arasındaki korelasyondan daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak; servikal vertebralardan elde edilen iskelet yaşının kronolojik yaştan üstün olmadığını, kronolojik yaş kullanımı ile sadece birkaç hastanın pubertal büyüme atılımının tespit edilemeyeceğini bildirmişlerdir.

Günümüzde, teknolojiye büyük gelişmeler sayesinde ortodonti alanında tanı, tedavi ve prognoza yardımcı olması için bilgisayar programları rutin olarak kullanılmaktadır(9). Özellikle büyüme gelişim dönemini tespit etmek için oluşturulan sınıflamaların, yapay zeka yardımıyla büyük veri havuzlarında uygulanabilir olması hem bireye bağlı hataların önüne geçmekte hem de zaman açısından büyük tasarruf sağlamaktadır. Bu konuda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır.

Santiago ve ark. yayınladıkları kesitsel çalışmada, servikal vertebraların gelişimini sayısal olarak değerlendirebilmek için bir bilgisayar yazılımı olan Dijital Vertebra Analizini geliştirmişler ve programın uygulanabilirliğini MLRM (Multinomial lojistik regresyon modeli) ile ölçmüşlerdir. İlk olarak çalışmadaki bireyler Fishman'ın 'SMI' kriterlerine göre 11 kategori şeklinde sınıflandırılmış sonrasında kantitatif servikal olgunlaşma değişiklikleri analizi ile dört gruba ayrılmıştır. Oluşturulan gruplar, servikal vertebralarda yapılan ölçümlere göre birbirinden istatistiksel olarak anlamlı farklılar göstermiştir. Sonuç olarak, başlangıçta Fishman yöntemine göre oluşturulan gruplar ile servikal vertebra ölçümlerinden elde edilen sonuçlara kronolojik yaş ve cinsiyet değişkenlerinin kombine edilmesiyle

oluşturulan datasetin MLRM ile sınıflandırılması, neredeyse mükemmel seviyede uyum göstermiştir(17).

Kök ve ark. 419 bireyin sefalometrik ve el-bilek radyografilerini kullanarak bireylerin hem el-bilek hem servikal vertebra maturasyon evrelerini (CVM) belirlemiş ve el-bilek, CVM ve kronolojik yaş arasındaki korelasyonu değerlendirmiştir. Sefalometrik radyografiler üzerinde 27 vertebral referans noktası belirlenmiş ve 32 lineer ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerin birleştirilmesi ve yapay sinir ağlarını (ANN) eğitmek için 24 farklı dataset oluşturulmuş ve başarı düzeyi en yüksek ve klinik olarak uygulanabilir olan 7 ANN modeli seçilmiştir. Sonuç olarak; el-bilek maturasyon düzeyi, CVM ve kronolojik yaş arasında anlamlı pozitif korelasyonlar saptanmıştır. ANN-7 modeli (32 lineer ölçüm ve yaş) 0,9427 değeri ile en yüksek doğruluk değerine sahiptir. Lineer ölçüm sayısı dikkate alındığında ise en iyi sonucu veren ANN-6 (0,8687); vertical ölçümler ve çentik derinliği ölçümlerini içeren 13 lineer ölçüm üzerinden elde edilmiştir(18).

Kök. ve ark.ları yaptıkları başka bir çalışmada ise 300 bireyin iskeletsel maturasyonunun sınıflamasında lateral sefalometrik radyografiler üzerinde çeşitli ölçümler yaparak, bu ölçümler aracılığı ile 6 adet servikal vertebra maturasyon evresini makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak sınıflamışlardır. Karışıklık matrisine göre servikal vertebra evrelerini belirlemede en yüksek doğruluğa sahip algoritmalar; CSV1 (%97,1)–CSV2 (%90,5) sınıflarında karar ağacı, CVS3 (%73,2)–CVS4 (%58,5) sınıflarında destek vektör makinesi (DVM) ve CVS 5 (%60,9)–CVS 6 (%78,7) sınıflamasında kNN (k en yakın komşuluk algoritması) olarak bulunmuştur(9).

Konu ile ilgili yapılan literatür taraması sonucunda servikal vertebralardan maturasyon dönemi ve iskelet yaşı belirlenmesinde servikal vertebralarda üzerinde henüz değerlendirilmemiş parametreler olduğu ve örneklem büyüklüklerinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmamızda hem örneklem büyüklüğü hem de değerlendirilen parametre sayısı arttırılmıştır.

Bizim çalışmamızın amacı; servikal vertebralarda yapılan ölçümlerin, makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak, Fishman büyüme gelişim sınıflamasında (evre1, evre 2, evre 3) kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi (çalışma çıktısı 1) ve servikal vertebralarda yapılan ölçümlerden, regresyon analizi ile elde edilen iskelet yaşını, el-

bilek radyografilerinden (Greulich ve Pyle methodu ile) elden edilen iskelet yaşı ile karşılaştırmaktır (çalışma çıktısı 2).

5.2. Gereç ve Yöntemin Tartışılması

Çalışmamız için belirlediğimiz kriterlere uyan 794 bireyin el-bilek ve lateral sefalometrik radyografileri seçilmiştir. Makine öğrenmesi yöntemleri büyük veri analizlerinde daha doğru sonuçlar verdiği için çalışmamızın güvenilirliği için en önemli faktörlerden birisi örneklem sayıdır. Literatürdeki benzer çalışmalara bakıldığında; Mito ve ark. 66, Alhadlag ve ark. 122, Caldas ve ark. 238, San Roman ve ark. 958, Kök ve ark. 419 bireyden oluşan örneklemeler üzerinden çalışmalarını yayınlamışlardır(13-15, 18, 88). Bizim çalışmamızda ise birey sayısını belirlemek için Güç analizi uygulanmış ve çalışmaya dahil edilmesi gereken minimum örneklem sayısı bağımsız değişken sayısı 106 olarak alındığında %95 güven (1- α), %95 test gücü (1- β), $f^2= 2,185$ etki büyüklüğü ile alınması gereken minimum örnek sayısı 123, bağımsız değişken sayısı 53 olarak alındığında ise %95 güven (1- α), %95 test gücü (1- β), $f^2= 2,185$ etki büyüklüğü ile alınması gereken minimum örnek sayısı 69 olarak belirlenmiştir.

Büyüme gelişim süresince vertebra gövdesinin şekli trapezoidten dikey dikdörtgene doğru bir değişim göstermektedir. Bu değişim sırasında çalışmamızda kullandığımız boyutsal ölçümlerin artmasının yanı sıra oransal ve açısal ölçümler de değişmektedir. Çalışmamızın yaş aralığının geniş olması (7-18 yaş) bazı açısal ve oransal ölçümlerin belli yaş gruplarındaki artan etkisinin değerlendirilememesine neden olmuş olabilir.

Cinsiyet farkının büyüme gelişim üzerine etkisini bildirilen birçok çalışma vardır(1, 65, 88, 109). Pubertal atılım dönemine kadar cinsiyetler arası belirgin bir fark gözlenmezken pubertal atılımla beraber büyüme gelişimde gözle görülür bir fark oluşur. Hagg ve taranger pubertal atılımın kızlarda ortalama olarak 10 yaş, erkeklerde ise 12 yaşında başladığını bildirmiştir(65). Fishman da pubertal atılım döneminin kızlarda 14,77 yaş, erkeklerde 16,4 yaşında sonlandığını bildirmiştir(1). Bizim çalışmamızda cinsiyet farkından doğabilecek sonuçların daha iyi değerlendirilebilmesi için, çalışma çıktısı 1’de; dataset 1 ve dataset 3’e cinsiyet değişkeni eklenmemiştir, çalışma çıktısı 2’de ise datasetler kız ve erkekler için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Çalışmamızda elde ettiğimiz en iyi model sonuçları değerlendirildiğinde ham veri

dataseti için en iyi sonuç erkeklerde, türetilmiş veri datasetinde kızlarda elde edilmiştir (Tablo 48).

Kemik gelişimi ırk ve etnik gruba göre farklılık gösterebilmektedir(76, 110, 111). Bu durum dikkate alınarak çalışmamıza standardizasyonu sağlamak için sadece Türk bireylere dahil edilmiştir.

İskelet gelişiminin hangi evrede olduğu; bireyin hormonal durumundan etkilenir(112). Bu nedenle herhangi bir hormonal hastalığı veya kemik metabolizmasını etkileyen sistemik hastalığı olan bireyler çalışma dışı bırakılmıştır.

El-bilek radyografileri büyüme gelişim dönemlerinin belirlenmesi ve takibi için en yaygın kullanılan diagostik araçtır(76, 113). Öngürebilen bir sırada kalsifiye olan yapılar bulunması, her parmağın epifiz-diafiz kaynaşma zamanının birbirinden farklı olması, sesamoid kemik kalsifikasyonu gibi belirgin bir pubertal atılım belirtici içermesi ve tüm bunların tek bir radyografi ile değerlendirilebilmesi gibi birçok avantajı bulunmaktadır(36, 63). Yapılan çalışmalarda vücudun sağ ve sol tarafı arasında büyüme gelişim açısından büyük bir fark olmadığı bildirilmesine rağmen, sol elin sağ elden daha az kullanılması, kaza ve yaralanmalara maruziyetinin daha az olması nedeniyle çalışmamızda sol el-bilek bölgesinden alınan radyografiler kullanılmıştır(60). Çalışmamızın çalışma çıktısı 1 kısmında; örneklemimiz Fishman'ın SMI kriterlerine göre evre1/evre2/evre 3 şeklinde sınıflandırılmıştır. Bu yöntem; 6 anatomik bölgenin maturasyonunu detaylı olarak içermesi ve yapılan çalışmalarda vertebral ölçümler ile yüksek korelasyon göstermesi nedeniyle tercih edilmiştir(66, 107). Çalışma çıktısı 2 kısmında ise; bireylerin iskelet yaşını değerlendirmek için GP atlası kullanılmıştır. GP atlası; basit ve anlaşılır olmasının yanında farklı kemikleşme merkezlerini içermesi gibi avantajları sebebiyle iskelet yaşını belirlemede klinikte en yaygın kullanılan yöntemdir(74, 114, 115). GP atlasının Türk çocuklar üzerine uygulanabilirliğini araştıran makalelerde; Büken ve ark. bazı yaş gruplarında iskelet yaşı ile kronolojik yaş arasında istatistiksel olarak anlamlı fark çıkmasına rağmen daha iyi bir yöntem tespit edilene kadar GP atlasının Türk çocuklarda uygulanabilir olduğunu, Cantekin ve ark. ise GP iskelet yaşı ile kronolojik yaş arasındaki farkın pratikte önemi olmayacak kadar küçük olduğunu ve yöntemin Türk çocuklarında uygulanabilir olduğunu bildirmişlerdir(72, 74).

Son yıllarda büyüme ve gelişim ile beraber servikal vertebralarda oluşan değişikliklerin, iskelet yaşı elde etmek için kullanıldığı çalışmalar giderek artmaktadır. Servikal vertebraların değerlendirilmesinde; lateral sefalometrik radyografi, anteroposterior radyografi ve üç boyutlu görüntüleme teknikleri kullanılabilir(83, 116). Anteroposterior radyografilerde süperpozisyonlar olması, üç boyutlu görüntüleme tekniklerinin ise pahalı ve radyasyon dozunun yüksek olması nedeniyle tez çalışmamızda görüntüleme yöntemi olarak lateral sefalometrik radyografiler kullanılmıştır. Literatüre bakıldığında servikal vertebralardan iskelet yaşı ve yapay zeka aracılığıyla maturasyon dönemi tahminlemede hangi servikal vertebralardan faydalanılacağıyla ilgili bir fikir birliği yoktur. Bu konuda yapılan benzer çalışmaların bir kısmına C2, C3, C4 ve C5 vertebraları dahil edilirken(6, 10, 18), bazı çalışmalar C5 vertebrağını çalışma dışı bırakarak C2, C3 ve C4 vertebralarını kullanmışlardır(9, 96, 117). Bunun yanında sadece C3 ve C4 vertebralarının kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur(13-15, 94). Biz çalışmamıza, servikal vertebralardaki tüm değişimleri kapsayabilmesi ve çalışma sonuçlarına yansıtabilmesi için C2, C3, C4 ve C5 vertebralarını dahil ettik.

5.3. Bulguların Tartışılması

5.3.1. Çalışma Çıktısı 1'in Bulgularının Tartışılması

Çalışmamızdaki evrelerin algoritmalar tarafından ne kadar doğru tahmin edildiğini değerlendirmek için total F1 skorları değerlendirildiğinde (tablo 20), ham verinin sınıflamasında en başarılı algoritma MLP olurken, türetilmiş veride DVM olmuştur. Ham veri ve türetilmiş veri parametrelerini içeren datasetlerin karşılaştırılması için dataset 1 ile dataset 4, dataset 2 ile dataset 5, dataset 3 ile dataset 6 tüm algorimalarda kendi aralarında karşılaştırılmıştır. DVM algoritmasında dataset 6'nın dataset 3'den daha başarılı sonuçlar vermesi hariç diğer tüm datasetlerde ham veri parametrelerini içeren datasetler daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Küçükkeleş ve ark.(118) Hassel ve Farman tarafından geliştirilen CVM yöntemi ile Fishman tarafından geliştirilen SMI sınıflamasının birbiri ile ilişkisini incelemişler ve bu iki yöntemin birbiri ile uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda yöntemlerin tekrarlanabilirliğinin de araştırıldığı çalışmada; SMI yönteminin CVM yöntemine göre tekrarlanabilirliğinin daha yüksek olduğunu, CVM yönteminde ise en düşük gözlemciler arası uyumun 'peak' döneminde gözlemlendiğini

bildirmişlerdir. Benzer şekilde Zhao ve ark. da en düşük tekrarlanabilirliğin CVM 3'te görüldüğünü bildirmiştir(119). Bizim çalışma çıktılarımız da tekrarlanabilirliğin daha yüksek olduğu Fishman yöntemine göre yapılmış (evre1/2/3) ve yine Küçükkeleş ve ark. çalışma sonuçlarına paralel olarak tüm datasetlerde en düşük tahmin başarısı çalışmamızda 'peak' dönemine tekabül eden evre 2 de gözlenmiştir.

Servikal vertebraların sınıflamalarının tekrarlanabilirliği ölçen çalışmalarda en başarılı sonuçların maturasyonun sonlandığı evrelerde elde edildiği görülmüştür(11, 119). Bunun nedeni; maturasyonun tamamlandığı evrelerde vertebra alt kenarındaki konkavite derinliklerinin belirgin şekilde artması ve vertebra gövdelerinin diğer aşamalardan farklı olarak dikey dikdörtgen şeklini alması olabilir. Çalışmamızın sonuçları incelendiğinde literatürdeki çalışmalara benzer olarak tüm algoritalarda en başarılı sonuçların evre 3'te elde edildiği görülmektedir (tablo 20).

Birçok araştırmacı kronolojik yaştan iskelet maturasyonunu belirlemede yeterli bir gösterge olmadığını bildirmiştir(32, 84, 120). Bunun yanı sıra bazı çalışmalarda kronolojik yaş ile iskelet yaşının ilişkide olduğu da gösterilmiştir(87, 121). Uysal ve ark. Türk popülasyonunda her iki cinsiyette de el-bilek maturasyonunun kronolojik yaş ile yüksek korelasyon gösterdiğini bildirmiştir(87). Ayrıca yapılan çalışmalarda cinsiyet faktörünün de iskelet yaşını belirlemede etkili olduğu ve yapılan modellemelerde cinsiyet değişkeninin eklenmesini başarıyı arttırdığı bildirilmiştir(17, 122). Bizim çalışmamızda da literatürü destekler şekilde cinsiyet ve yaş değişkenlerinin eklendiği dataset 3 ve dataset 6 daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Makine öğrenmesi yöntemlerinde veri miktarını arttırmanın daha doğru sonuçlar elde etmek için gerekli olduğu bilinmektedir(123). Bizim çalışmamızda 11 aşamalı Fishman yöntemi ile doğru sonuçlar etmek için çok fazla veri gerekeceğinden, el-bilek radyografileri Fishman'a göre 3 evreye ayrılarak çalışma verileri oluşturulmuştur.

5.3.2. Çalışma Çıktısı 2'nin Bulgularının Tartışılması

Tez çalışmamızın çalışma çıktısı 2 kısmında servikal vertebra iskelet yaşı elde edilirken, her datasete Ridge, Lasso ve Elastik Net regresyon modelleri uygulanarak toplamda 12 adet regresyon denklemi elde edilmiştir. Elde edilen formüller içerisinde en iyi model sonucu, R^2 değeri en yüksek ve AIC değeri en düşük olan modeller vermektedir (Tablo 48). Tüm datasetlerde en başarılı sonuç Lasso regresyon modeli

ile elde edilmiştir. Bu başlık altında tez çalışmamızdaki en iyi model sonuçları, benzer çalışmalar ile tartışılmıştır.

Tez çalışmamızdaki en iyi model sonuçlarına göre oluşturulan regresyon formülleri;

Ham veri erkek datasetinde servikal vertebra iskelet yaşı=0,185*FVD + 0,534*FiVD + 0,019*PH3 + 0,448*SVD + 0*TVd + 0,647*TVup-TVlp + 0*UW3 + 0,259*Y3 + 0,868 (**R²=0,783**)

Ham veri kız datasetinde servikal vertebra iskelet yaşı=0,481*FiVD + 0,935*FVD + 0,614*SVD + 0*TVpm-TVam + 0,513*TVum-TVd - 0,149*UW4 - 0,065*UW5 + 0,494*Y3 + 1,892 (**R²=0,741**)

Türetilmiş veri erkek datasetinde servikal vertebra iskelet yaşı= 27,388*20 lineer/1 lineer+ 0*21 lineer/11 lineer+ 0*21 lineer/PH3 lineer+ 4,972*22 lineer/14 lineer+ 9,14*22 lineer/PH4 lineer+ 0*23 lineer/17 lineer+ 5,697*23 lineer/AH5 lineer+ 0*23 lineer/PH5 lineer+ 9,017 (**R²=0,428**)

Türetilmiş veri kız datasetinde servikal vertebra iskelet yaşı = 21,073*20 lineer/1 lineer+ 3,999*21 lineer/11 lineer+ 1,742*21 lineer/PH3 lineer+ 0,207*22 lineer/14 lineer+ 10,705*22 lineer/PH4 lineer+ 12,508*23 lineer/17 lineer - 27,192*23 lineer/AH5 lineer+ 23,995*23 lineer/PH5 lineer+ 9,274 (**R²=0,469**)

Beit ve ark.(16) 6-18 yaş arasındaki 730 bireyde, C2, C3, C4 vertebra ları üzerinde yaptıkları çalışmada; GP yöntemi ile servikal vertebra iskelet yaşı ve kronolojik yaşı karşılaştırmıştır. Servikal vertebra larında; vertebra ların alt kenarındaki konkavite derinliğinin alt kenar uzunluğuna oranı (konkavite), C3 ve C4 vertebra gövdelerinin ön kenar uzunluğunun alt kenar uzunluğuna oranı (anterior yükseklik) ve alt-üst kenarlar arasındaki açıyı kullanarak kız ve erkeklerde iskelet yaşı tayini için regresyon denklemleri oluşturmuşlardır.

Kızlar için servikal vertebra iskelet yaşı: 4,559 + 9,897 × C2 konkavite + 6,866 × C3 konkavite + 10,066 × C4 konkavite + 6,193 × C3 anterior yükseklik + 2,844 × C4 anterior yükseklik (**R²: 0,671**)

Erkekler için servikal vertebra iskelet yaşı: 5,242 + 5,758 × C2 konkavite + 6,629 × C3 konkavite + 9,176 × C4 konkavite + 2,953 × C3 anterior yükseklik + 4,306 × C4 anterior yükseklik (**R²: 0,693**)

Elde ettikleri formül bizim çalışmamızda elde edilen türetilmiş veri dataseti formüllerine paralel olarak, C2 vertebraının alt kenarındaki konkavite derinliğinin alt kenar uzunluğuna oranı (20/1) parametresini içermektedir. Alt-üst kenar arasındaki açı hem Beit. ve ark.'nın yapmış olduğu çalışmada hem de bizim çalışmamızda diğer parametrelere göre etkisi düşük olduğundan oluşturulan formüllerde yer almamıştır.

Beit ve ark.'nın türetilmiş veriler üzerinden oluşturduğu formüllerde açıklanabilirlik düzeyi kızlarda $R^2 = 0,671$ iken, erkeklerde $R^2 = 0,693$ bulunmuştur. Bizim çalışmamızdaki en iyi model sonucunda, türetilmiş veride (erkeklerde $R^2 = 0,428$ kızlarda $R^2 = 0,469$) Beit ve ark.'na göre daha düşük açıklanabilirlik düzeyi elde edilmişken, ham veri datasetindeki en iyi model sonucunda (erkeklerde $R^2 = 0,783$, kızlarda $R^2 = 0,741$) Beit ve ark.'dan daha başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Çalışmamız benzer yaş gruplarını içermesine rağmen, bu farklılığın sebebi; iki çalışmanın farklı ırklar üzerinde farklı parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiş olması olabilir. Beit ve ark. çalışmalarının sonucunda; servikal vertebralardan elde edilen iskelet yaşının kronolojik yaştan üstün olmadığını, kronolojik yaş kullanımı ile sadece birkaç hastanın pubertal büyüme atılımının tespit edilemeyeceğini bildirmişlerdir.

Caldas ve ark.(15) ise 7-15,9 yaşları arasındaki 109 bireyin C3 ve C4 vertebralarında, AH, H, PH ve vertebraların posterior medial ile anterior medial noktaları arasında kalan mesafeyi (Vam-Vpm) ölçerek kız ve erkekler için oransal ölçümleri kullanarak regresyon denklemleri oluşturmuşlardır.

Kızlar için servikal vertebra iskelet yaşı = $1,3523 + 6,7691 \times AH3/AP3 + 8,6408 \times AH4/AP4$

Erkekler için servikal vertebra iskelet yaşı = $1,4892 + 11,3736 \times AH3/AP3 + 4,8726 \times H4/AP4$

Oluşturdukları denklemde sadece türetilmiş veri olan oransal ölçümleri kullanmışlardır. Bizim çalışmamızda türetilmiş veri datasetinde kullandığımız oransal ölçümlerin tamamı (tablo 40), vertebra alt kenarındaki konkavite derinliği parametresini içerirken, Caldas ve ark.'nın çalışması konkavite derinliği ölçümüne yer vermemiştir. Ayrıca Caldas ve ark.'nın çalışmasında iskelet yaşı üzerinde AH3 ve AH4 parametreleri etkiliyken, bizim çalışmamızda AH5 parametresi iskelet yaşı

üzerinde daha etkili bulunmuştur. Çalışmalarında; kızlarda 10-13 yaş arasında C3 ve C4 vertebralarında, erkeklerde 12-15 yaş arasında C3 vertebraında belirgin bir boyut artışının görüldüğü bildirilmiştir. Kızlarda C4 vertebraında önemli değişiklik gözlenmesine karşın erkeklerde ise önemli bir değişiklik görülmemiştir. Çalışmamızda türetilmiş veri datasetindeki en başarılı modelde iskelet yaşının açıklanabilirlik düzeyi, kızlarda $R^2=0,469$, erkeklerde $R^2=0,428$ olarak elde edilmiştir. Tez çalışmamızda türetilmiş veri datasetinden elde edilen R^2 değerlerinin ham veri datasetinden daha düşük olmasının nedeni; belirli yaş gruplarında karakteristik değişim gösteren oranların, yaş aralığı genişledikçe önem düzeyini kaybetmesi olabilir. Sonraki çalışmalarda büyüme gelişim dönemlerine göre yaş grupları oluşturularak regresyon formülü elde edilmesi daha başarılı sonuçlar verebilir. Caldas ve ark.'nın çalışmasında R^2 değerleri verilmemiş, ancak vertebra iskelet yaşı ile TW3 iskelet yaşı ve kronolojik yaş arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ve vertebra iskelet yaşının kullanılabilir olduğu bildirilmiştir.

San roman ve ark.(88) yaptığı çalışmada 5-18 yaşları arasındaki 958 bireyde servikal vertebraların, gövde şeklini (altı aşama), yüksekliğini (dört aşama), ve alt kenarındaki konkavite (altı aşama) değişimlerini incelemiş, iskelet maturasyonunu belirleyebilecekleri regresyon denklemleri geliştirmişlerdir.

Erkekler için iskeletsel maturasyon dönemi: $-0,838 + 0,771$ konkavite aşaması+ $0,840$ yükseklik aşaması+ $0,229$ şekil aşaması

Kızlar için iskeletsel maturasyon dönemi: $0,029+ 0,914$ konkavite aşaması+ $0,745$ yükseklik aşaması

Bizim çalışmamızda da San Roman ve ark.'na paralel olarak, ham veri kız datasetinde en etkili parametrelerin sırasıyla C4 ve C3 vertebralarının alt kenarındaki konkavite derinliği (FVd, TVd) iken ham veri erkek datasetinde C5, C2 vertabralarının alt kenarındaki konkavite derinliği iskelet yaşı üzerinde etkili sonuç vermiştir. Sonuç olarak her iki çalışmada da servikal vertebra iskelet yaşının belirlenmesinde, vertebra alt kenarındaki konkavite derinliğinin etkisinin yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir. Buldukları bu yeni yöntemin el-bilek radyografileri yerine kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Varshoaz ve ark.(94) 8-18 yaş arasındaki 91 bireyin C3 ve C4 vertebralarında ön kenar uzunluğu (Vua-Vla), arka kenar uzunluğu (Vup-Vlp) ve vertebra gövdesi genişliği (Vam-Vpm) parametrelerini ölçerek sonrasında ‘stepwise multivariable regresyon analizi’ ile yaptıkları ölçümlerden iskelet yaşını belirlemede en efektif sonuç veren parametreyi belirlemişlerdir.

$$\text{Varshoaz ve ark. iskelet yaşı} = 0.989 \times \text{AH4 (FVua-FVla)} + 3.308.$$

Elde ettikleri servikal vertebra iskelet yaşını GP iskelet yaşı ile karşılaştırmış ve açıklanabilirlik düzeyini $R^2=0,686$ bulmuştur. Bizim çalışmamızda AH4 parametresi ham veri datasetleri regresyon formüllerinde yer almazken açıklanabilirlik düzeyimiz Varshoaz ve ark.dan daha yüksek (kızlarda $R^2=0,741$ erkeklerde $R^2=0,783$) bulunmuştur.

Chen ve ark.’nın(10) 8-18 yaş arasındaki 87 bireyde yaptığı longitudinal çalışmada, C2, C3, C4 ve C5 vertebralarında oluşturdukları 62 ölçüm arasından iskelet maturasyonu tespitinde en etkili parametreleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Ölçtükleri parametreleri Fishman’ın SMI kriterleriyle gösterdikleri korelasyona göre değerlendirmişlerdir. Buna göre 62 parametreden 44’ü SMI ile pozitif korelasyon, 6 tanesi negatif korelasyon, 12 tanesi ise korelasyon göstermemiştir. Sonuçta ölçtükleri parametreler ile SMI arasındaki korelasyon oldukça yüksek bulunmuştur. En yüksek korelasyonu C3 ve C4 vertebralarındaki açısal ve oransal ölçümler ile elde etmişlerdir. Bizim çalışmamızda ise iskelet yaşını belirlemede en efektif sonuç ham veri datasetindeki parametreler ile elde edilmiş olup, oransal ve açısal ölçümlerdense boyutsal ölçümlerin iskelet yaşı üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma çıktısı 1 bulguları ışığında şu sonuçlar elde edilmiştir;

- Ham veri sınıflamasında en başarılı algoritma MLP olurken, türetilmiş veride DVM algoritması daha başarılı bulunmuştur.
- Oluşturulan datasetlere kronolojik yaş ve cinsiyet değişkenlerinin eklenmesi algoritmaların sınıflama başarısını arttırmıştır.
- Tüm algoritmalarda en başarılı sonuç evre 3'te elde edilmiştir.

Çalışma çıktısı 2 bulguları ışığında şu sonuçlar elde edilmiştir;

- Servikal vertebralardan iskelet yaşı eldesinde en başarılı sonuçlar ham veri datasetlerinde lineer ölçümler ile elde edilmiştir.
- İskelet yaşı elde edilmesinde önem düzeyi yüksek olan parametreler cinsiyete göre farklılık gösterebilmektedir.
- Sonraki çalışmalarda örneklemin CVM maturasyon aşamalarına göre pubertal atılım öncesi, pubertal atılım dönemi ve sonrası şeklinde sınıflandırarak regresyon denklemleri oluşturulması ile çalışmada daha efektif sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKÇA

1. Fishman LS. Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth. *The Angle Orthodontist*. 1979;49(3):181-9.
2. Baccetti T, Franchi L, McNamara Jr JA, editors. The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Seminars in Orthodontics*; 2005: Elsevier.
3. Oflaz MU, Görgülü S. Ortodontide Büyüme ve Gelişimin Değerlendirilmesi ve Önemi. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*. 2017;8(2):1571-80.
4. Başaran G, Özer T, Hamamcı N. Cervical vertebral and dental maturity in Turkish subjects. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2007;131(4):447. e13-. e20.
5. Nanda SK. Patterns of vertical growth in the face. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1988;93(2):103-16.
6. Kök H, İzgi MS, Acılar AM. Evaluation of the Artificial Neural Network and Naive Bayes Models Trained with Vertebra Ratios for Growth and Development Determination. *Turkish Journal of Orthodontics*. 2021;34(1):2.
7. İzgi MS, Hatice K. Kemik yaşı ve maturasyon tespiti. *Selcuk Dental Journal*. 2020;7(1):124-33.
8. Durka-Zajac M, Marcinkowska A, Mituś-Kenig M. Bone age assessment using cephalometric photographs. *Polish journal of radiology*. 2013;78(2):19.
9. Kök H, Acılar AM, İzgi MS. Usage and comparison of artificial intelligence algorithms for determination of growth and development by cervical vertebrae stages in orthodontics. *Progress in Orthodontics*. 2019;20(1):1-10.
10. Chen L, Liu J, Xu T, Long X, Lin J. Quantitative skeletal evaluation based on cervical vertebral maturation: a longitudinal study of adolescents with normal occlusion. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2010;39(7):653-9.
11. Gabriel DB, Southard KA, Qian F, Marshall SD, Franciscus RG, Southard TE. Cervical vertebrae maturation method: poor reproducibility. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;136(4):478. e1-. e7.
12. Nestman TS, Marshall SD, Qian F, Holton N, Franciscus RG, Southard TE. Cervical vertebrae maturation method morphologic criteria: poor reproducibility. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2011;140(2):182-8.
13. Mito T, Sato K, Mitani H. Cervical vertebral bone age in girls. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2002;122(4):380-5.
14. Alhadlaq A, Al-Maflehi N. New model for cervical vertebral bone age estimation in boys. *King Saud University Journal of Dental Sciences*. 2013;4(1):1-5.
15. Caldas MdP, Ambrosano GMB, Haiter Neto F. New formula to objectively evaluate skeletal maturation using lateral cephalometric radiographs. *Brazilian oral research*. 2007;21:330-5.
16. Beit P, Peltomäki T, Schätzle M, Signorelli L, Patcas R. Evaluating the agreement of skeletal age assessment based on hand-wrist and cervical vertebrae radiography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013;144(6):838-47.

17. Santiago RC, Cunha AR, Júnior G, Fernandes N, Campos M, Costa L, et al. New software for cervical vertebral geometry assessment and its relationship to skeletal maturation—a pilot study. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2014;43(2):20130238.
18. Kök H, İzgi MS, Acilar AM. Determination of growth and development periods in orthodontics with artificial neural network. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2021;24:76-83.
19. Sperber GH, Sperber GH, Guttman GD, Sperber SM. Craniofacial development (book for windows & macintosh): PMPH-USA; 2001.
20. Ülgen M. Ortodonti: anomaliler, sefalometri, etoloji, büyüme ve gelişim, tanı: Yeditepe Üniversitesi; 2000.
21. Ricketts RM. Facial and denture changes during orthodontic treatment as analyzed from the temporomandibular joint. *American Journal of Orthodontics*. 1955;41(3):163-79.
22. Singer J. Physiologic timing of orthodontic treatment. *The Angle Orthodontist*. 1980;50(4):322-33.
23. Ruf S, Pancherz H, editors. When is the ideal period for Herbsttherapy—early or late? *Seminars in orthodontics*; 2003: Elsevier.
24. Malmgren O, Ömblus J, Hägg U, Pancherz H. Treatment with an orthopedic appliance system in relation to treatment intensity and growth periods A study of initial effects. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1987;91(2):143-51.
25. Ngan P, editor Early timely treatment of Class III malocclusion. *Seminars in Orthodontics*; 2005: Elsevier.
26. Tirali RE, Yalçinkaya Z, Çehreli SB. Büyüme ve gelişim döneminde dental implant uygulamaları. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2011;28(1):47-50.
27. Gülyurt M. Ortodonti yönünden büyüme ve gelişim. Atatürk Üniv DişHek Fak Yayınları, Erzurum. 1989.
28. Flores-Mir C, Nebbe B, Major PW. Use of skeletal maturation based on hand-wrist radiographic analysis as a predictor of facial growth: a systematic review. *The Angle Orthodontist*. 2004;74(1):118-24.
29. McNamara Jr JA. Neuromuscular and skeletal adaptations to altered function in the orofacial region. *American Journal of Orthodontics*. 1973;64(6):578-606.
30. Sato K, Mito T, Mitani H. An accurate method of predicting mandibular growth potential based on bone maturity. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2001;120(3):286-93.
31. Gök Ş, Erölçer N, Özen C. Adli Tıpta yaş tayini. *Adli Tıp Kurumu Yayınları*. 1985.
32. Hunter CJ. The correlation of facial growth with body height and skeletal maturation at adolescence. *The Angle Orthodontist*. 1966;36(1):44-54.
33. Özer T, Kama JD, Özer SY. A practical method for determining pubertal growth spurt. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006;130(2):131. e1-. e6.
34. Sanders JO, Browne RH, McConnell SJ, Margraf SA, Cooney TE, Finegold DN. Maturity assessment and curve progression in girls with idiopathic scoliosis. *JBJS*. 2007;89(1):64-73.

35. Tiziano Baccetti D, Lorenzo Franchi D, Laura De Toffol D, Bruno Ghiozzi D, Paola Cozza M. The diagnostic performance of chronologic age in the assessment of skeletal maturity. *Prog Orthod*. 2006;7:176-88.
36. Hägg U, Taranger J. Maturation indicators and the pubertal growth spurt. *American Journal of Orthodontics*. 1982;82(4):299-309.
37. Moore RN, Moyer BA, DuBois LM. Skeletal maturation and craniofacial growth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1990;98(1):33-40.
38. Björk A. Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation. *Transactions European Orthodontic Society*. 1972:61-74.
39. Chang S-H, Tzeng S-J, Cheng J-Y, Chie W-C. Height and weight change across menarche of schoolgirls with early menarche. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*. 2000;154(9):880-4.
40. Henneberg M, Louw GJ. Average menarcheal age of higher socioeconomic status urban Cape coloured girls assessed by means of status quo and recall methods. *American Journal of Physical Anthropology*. 1995;96(1):1-5.
41. de Muinck Keizer-Schrama S, Mul D. Trends in pubertal development in Europe. *Human reproduction update*. 2001;7(3):287-91.
42. Isır AB. Adli Hekimlikte Yaş Tayini. Editörler: Prof Dr Sermet KOÇ Yrd Doç Dr Muhammet CAN. 2009;222.
43. Kirkeby S, Garbarsch C. Histochemical studies of the masseter, the temporal and small zygomaticomandibular, and the temporomandibular masticatory muscles from aged male and female humans. Fiber types and myosin isoforms. *CRANIO®*. 2001;19(3):174-82.
44. Isır AB, BAKIR K, Ramazan U, DÜLGER HE. AgNOR yöntemi ile insan epidermisinden yaş tespiti. *Firat Tıp Dergisi*. 2004;9(3):75-8.
45. Ren F, Li C, Xi H, Wen Y, Huang K. Estimation of human age according to telomere shortening in peripheral blood leukocytes of Tibetan. *The American journal of forensic medicine and pathology*. 2009;30(3):252-5.
46. Akay G, Atak N, Güngör K. Adli dişhekimliğinde dişler kullanılarak yapılan yaş tayini yöntemleri. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2018;39(2):73-82.
47. Spalding KL, Buchholz BA, Bergman L-E, Druid H, Frisén J. Age written in teeth by nuclear tests. *Nature*. 2005;437(7057):333-4.
48. Szulc P, Seeman E, Delmas P. Biochemical measurements of bone turnover in children and adolescents. *Osteoporosis International*. 2000;11(4):281-94.
49. Perinetti G, Baccetti T, Contardo L, Di Lenarda R. Gingival crevicular fluid alkaline phosphatase activity as a non-invasive biomarker of skeletal maturation. *Orthodontics & craniofacial research*. 2011;14(1):44-50.
50. Ishaq RAR, Soliman SAZ, Foda MY, Fayed MMS. Insulin-like growth factor I: a biologic maturation indicator. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2012;142(5):654-61.
51. Srinivasan B, Premkumar S. Assessment of serum dehydroepiandrosterone sulphate in subjects during the pre-pubertal, pubertal, and adult stages of skeletal maturation. *The European Journal of Orthodontics*. 2012;34(4):447-51.

52. Helfman PM, Bada JL. Aspartic acid racemization in tooth enamel from living humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1975;72(8):2891-4.
53. Setiawati R, Rahardjo P. Bone development and growth. *Osteogenesis and bone regeneration*. 2019;10.
54. Karasu A, Genccelep M, Kayıkcı C. Radiographic Assessment of Epiphyseal Plate Closure Time of Metacarpus and Phalanges in Goat Kids. *Van Veterinary Journal*. 2018;29(2).
55. Leite HR, O'Reilly MT, Close JM. Skeletal age assessment using the first, second, and third fingers of the hand. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1987;92(6):492-8.
56. Atasaral N, Abdulvahit E., . El-bilek kemiklerine ve servikal vertebralara göre pubertal büyüme atılım evreleri arasındaki geçiş sürelerinin belirlenmesi ve bunların karşılaştırılması.
57. Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1995;107(1):58-66.
58. Pryor J. The hereditary nature of variation in the ossification of bones. *Anat Rec*. 1907;1:84-8.
59. Roche A, Davila G, Eyman S. A comparison between Greulich-Pyle and Tanner-Whitehouse assessments of skeletal maturity. *Radiology*. 1971;98(2):273-80.
60. Aydoğdu S, Başçiftçi F. Methods Used in Computer-Assisted Bone Age Assessment of Children. *age*. 2014;1:2.
61. Howard CC. The physiologic progress of the bone centers of the hands of normal children between the ages of five and sixteen inclusive; also a comparative study of both retarded and accelerated hand growth in children whose general skeletal growth is similarly affected. *International Journal of Orthodontia, Oral Surgery and Radiography*. 1928;14(12):1041-66.
62. Hellman M. Ossification of epiphysial cartilages in the hand. *American Journal of Physical Anthropology*. 1928;11(2):223-57.
63. Flory CD. Osseous development in the hand as an index of skeletal development. *Monographs of the Society for Research in Child Development*. 1936;1(3):i-141.
64. Chapman S. Ossification of the adductor sesamoid and the adolescent growth spurt. *The Angle Orthodontist*. 1972;42(3):236-44.
65. Hägg U, Taranger J. Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1980;38(3):187-200.
66. Fishman LS. Radiographic evaluation of skeletal maturation: a clinically oriented method based on hand-wrist films. *The Angle Orthodontist*. 1982;52(2):88-112.
67. Mendes YBE, Bergmann JR, Pellissari MF, Hilgenberg SP, Coelho U. Analysis of skeletal maturation in patients aged 13 to 20 years by means of hand wrist radiographs. *Dental Press J Orthod*. 2010;15(1):74-9.
68. Smith RJ. Misuse of hand-wrist radiographs. *American journal of orthodontics*. 1980;77(1):75-8.
69. Spampinato C. Skeletal bone age assessment. *University of Catania, Viale Andrea Doria*. 1995;6:95125.

70. Akkan N. Kemik Yaşı Saptanmasında Kullanılan Greulich-Pyle ve Tanner-Whitehouse Metodlarının Karşılaştırılması. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*. 1982;16(1):1-9.
71. Güzel Fidanöz B. Boyun omurlarından yararlanılarak belirlenen iskelet yaşının kız bireylerde güvenilirliğinin incelenmesi: Retrospektif çalışma.
72. Büken B, Şafak AA, Yazıcı B, Büken E, Mayda AS. Is the assessment of bone age by the Greulich–Pyle method reliable at forensic age estimation for Turkish children? *Forensic science international*. 2007;173(2-3):146-53.
73. Koc A, Karaoglanoglu M, Erdogan M, Kosecik M, Cesur Y. Assessment of bone ages: is the Greulich-Pyle method sufficient for Turkish boys? *Pediatrics international*. 2001;43(6):662-5.
74. Cantekin K, Celikoglu M, Miloglu O, Dane A, Erdem A. Bone age assessment: the applicability of the Greulich–Pyle method in Eastern Turkish children. *Journal of forensic sciences*. 2012;57(3):679-82.
75. Malina RM, Coelho-e-Silva MJ, Figueiredo AJ, Philippaerts RM, Hirose N, Peña Reyes ME, et al. Tanner–Whitehouse skeletal ages in male youth soccer players: TW2 or TW3? *Sports Medicine*. 2018;48:991-1008.
76. Grave K, Brown T. Skeletal ossification and the adolescent growth spurt. *American journal of orthodontics*. 1976;69(6):611-9.
77. Fishman LS. Maturational patterns and prediction during adolescence. *The Angle Orthodontist*. 1987;57(3):178-93.
78. Graber T. Panoramic radiography in orthodontic diagnosis. *American journal of orthodontics*. 1967;53(11):799-821.
79. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Human biology*. 1973;211-27.
80. Jayaraman J, Wong HM, King NM, Roberts GJ. The French–Canadian data set of Demirjian for dental age estimation: a systematic review and meta-analysis. *Journal of forensic and legal medicine*. 2013;20(5):373-81.
81. Nur B, Kusgoz A, Bayram M, Celikoglu M, Nur M, Kayipmaz S, et al. Validity of Demirjian and Nolla methods for dental age estimation for Northeastern Turkish children aged 5–16 years old. *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal*. 2012;17(5):e871.
82. Tunc ES, Koyuturk AE. Dental age assessment using Demirjian's method on northern Turkish children. *Forensic science international*. 2008;175(1):23-6.
83. Lamparski D. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae [master's thesis]. Pittsburgh, Penn: Department of Orthodontics, The University of Pittsburgh. 1972.
84. Baccetti T, Franchi L, McNamara Jr JA. An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *The Angle Orthodontist*. 2002;72(4):316-23.
85. Hellsing E. Cervical vertebral dimensions in 8-, 11-, and 15-year-old children. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1991;49(4):207-13.
86. O'Reilly MT, Yanniello GJ. Mandibular Growth Changes and Maturation of Cervical Vertebrae: —A Longitudinal Cephalometric Study. *The Angle Orthodontist*. 1988;58(2):179-84.

87. Uysal T, Ramoglu SI, Basciftci FA, Sari Z. Chronologic age and skeletal maturation of the cervical vertebrae and hand-wrist: is there a relationship? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006;130(5):622-8.
88. Román PS, Palma JC, Oteo MD, Nevado E. Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development. *The European Journal of Orthodontics*. 2002;24(3):303-11.
89. Andresen SL. John McCarthy: father of AI. *IEEE Intelligent Systems*. 2002;17(5):84-5.
90. Chartrand G, Cheng PM, Vorontsov E, Drozdal M, Turcotte S, Pal CJ, et al. Deep learning: a primer for radiologists. *Radiographics*. 2017;37(7):2113-31.
91. Raschka S. *Python machine learning*: Packt publishing ltd; 2015.
92. Wang R, Pan W, Jin L, Li Y, Geng Y, Gao C, et al. Artificial intelligence in reproductive medicine. *Reproduction (Cambridge, England)*. 2019;158(4):R139.
93. Kononenko I. Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective. *Artificial Intelligence in medicine*. 2001;23(1):89-109.
94. Varshosaz M, Ehsani S, Nouri M, Tavakoli MA. Bone age estimation by cervical vertebral dimensions in lateral cephalometry. *Progress in Orthodontics*. 2012;13(2):126-31.
95. Greulich WW, Pyle SI. *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*: Stanford university press; 1959.
96. Xie L, Tang W, Izadikhah I, Chen X, Zhao Z, Zhao Y, et al. Intelligent quantitative assessment of skeletal maturation based on multi-stage model: a retrospective cone-beam CT study of cervical vertebrae. *Oral Radiology*. 2022;38(3):378-88.
97. Karatzoglou A, Meyer D, Hornik K. Support vector machines in R. *Journal of statistical software*. 2006;15:1-28.
98. Suthaharan S. Machine learning models and algorithms for big data classification. *Integr Ser Inf Syst*. 2016;36:1-12.
99. Grosan C, Abraham A, Grosan C, Abraham A. Artificial neural networks. *Intelligent Systems: A Modern Approach*. 2011:281-323.
100. Hastie T, Tibshirani R, Friedman JH, Friedman JH. *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction*: Springer; 2009.
101. Robert T. Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*. 1996;58:267.
102. Zou H, Hastie T. Regularization and variable selection via the elastic net. *Journal of the royal statistical society: series B (statistical methodology)*. 2005;67(2):301-20.
103. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*. 1977:159-74.
104. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*. 2016;15(2):155-63.
105. Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE. *Multivariate data analysis: Pearson new international edition PDF eBook*: Pearson Higher Ed; 2013.
106. Kutner MH, Nachtsheim CJ, Neter J, Wasserman W. *Applied linear regression models*: McGraw-Hill/Irwin New York; 2004.

107. Chen L-L, Xu T-M, Jiang J-H, Zhang X-Z, Lin J-X. Quantitative cervical vertebral maturation assessment in adolescents with normal occlusion: a mixed longitudinal study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008;134(6):720. e1-. e7.
108. Gandini P, Mancini M, Andreani F. A comparison of hand-wrist bone and cervical vertebral analyses in measuring skeletal maturation. *The Angle Orthodontist*. 2006;76(6):984-9.
109. Kimura K. Skeletal maturity of the hand and wrist in Japanese children by the TW2 method. *Annals of Human Biology*. 1977;4(4):353-6.
110. Björk A, Helm S. Prediction of the age of maximum puberal growth in body height. *The Angle Orthodontist*. 1967;37(2):134-43.
111. Mora S, Boechat MI, Pietka E, Huang H, Gilsanz V. Skeletal age determinations in children of European and African descent: applicability of the Greulich and Pyle standards. *Pediatric research*. 2001;50(5):624-8.
112. Uysal T, Sari Z, Ramoglu SI, Basciftci FA. Relationships between dental and skeletal maturity in Turkish subjects. *The Angle Orthodontist*. 2004;74(5):657-64.
113. Houston W, Miller J, Tanner J. Prediction of the timing of the adolescent growth spurt from ossification events in hand—wrist films. *British Journal of Orthodontics*. 1979;6(3):145-52.
114. Kim JR, Shim WH, Yoon HM, Hong SH, Lee JS, Cho YA, et al. Computerized bone age estimation using deep learning based program: evaluation of the accuracy and efficiency. *American Journal of Roentgenology*. 2017;209(6):1374-80.
115. Berst MJ, Dolan L, Bogdanowicz MM, Stevens MA, Chow S, Brandser EA. Effect of knowledge of chronologic age on the variability of pediatric bone age determined using the Greulich and Pyle standards. *American Journal of Roentgenology*. 2001;176(2):507-10.
116. Joshi V, Yamaguchi T, Matsuda Y, Kaneko N, Maki K, Okano T. Skeletal maturity assessment with the use of cone-beam computerized tomography. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*. 2012;113(6):841-9.
117. Kim DW, Kim J, Kim T, Kim T, Kim YJ, Song IS, et al. Prediction of hand-wrist maturation stages based on cervical vertebrae images using artificial intelligence. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2021;24:68-75.
118. Kucukkeles N, Acar A, Biren S, Arun T. Comparisons between cervical vertebrae and hand-wrist maturation for the assessment of skeletal maturity. *The Journal of clinical pediatric dentistry*. 1999;24(1):47-52.
119. Zhao X-G, Lin J, Jiang J-H, Wang Q, Ng SH. Validity and reliability of a method for assessment of cervical vertebral maturation. *The Angle Orthodontist*. 2012;82(2):229-34.
120. Houston W. The current status of facial growth prediction: a review. *British Journal of Orthodontics*. 1979;6(1):11-7.
121. Dahlberg PS, Mosdøl A, Ding Y, Bleka Ø, Rolseth V, Straumann GH, et al. A systematic review of the agreement between chronological age and skeletal age based on the Greulich and Pyle atlas. *European radiology*. 2019;29:2936-48.

122. Nguyen QH, Nguyen BP, Nguyen MT, Chua MC, Do TT, Nghiem N. Bone age assessment and sex determination using transfer learning. *Expert Systems with Applications*. 2022;200:116926.
123. Grolinger K, Hayes M, Higashino WA, L'Heureux A, Allison DS, Capretz MA, editors. *Challenges for mapreduce in big data*. 2014 IEEE world congress on services; 2014: IEEE.



EKLER

EK-1. Etik Kurul Onayı



T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurul Başkanlığı



Sayı : E-40465587-050.01.04-606
Konu : Etik Kurul

15.02.2023

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Merve GONCA

Üniversitemiz Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kuruluna yapmış olduğunuz “Servikal Vertebral Ölçümler ve Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Elde Edilen İskelet Yaşının, El Bilek Radyografilerinden Elde Edilen İskelet Yaşı ve Maturasyon Dönemi ile Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi” isimli başvurunuz etik kurulumuz yönergesine göre 02.02.2023 tarihinde yapmış olduğu toplantıda incelenmiş olup, 2023/33 karar numarası ile bilimsel ve etik yönden uygun bulunmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini saygılarımla rica ederim.

Doç. Dr. Tahsin Gökhan TELATAR
Başkan

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : 671e5061b47a

Belge Takip Adresi: <http://ebys.erdogan.edu.tr/EBYS/eimzadogrulama>

Fener Mah. Zihni Derin Yerleşkesi 53100 Rize / TÜRKİYE
Telefon No :+90 (464) 223 61 26 Faks No :+90 (464) 223 53 76
e-Posta : Internet.Adresi:http://www.erdogan.edu.tr/
Kep Adresi:

Bilgi için : BURAK HANKAYA
Bilgisayar İşletmeni

