Journal of Research on
ARCHAEOMETRY
A Peer-Reviewed Academic Journal of Archaeological and Conservation Science Studies

Tabriz Islamic Art University

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

Research Paper

Development of a Fuzzy Inference System for Estimating the Sex of Human Skeletal Remains Based on Two Morphological Studies

MohammadAli Kabirian*[1], Seyed Mamoud Taheri[2], Kamalaldin Niknami[3], Maryam Ramezani[4]

1. Ph.D. Candidate, Department of Archaeology, Faculty of Literature and Human Science, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Professor, School of Engineering Science, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Professor, Department of Archaeology, Faculty of Literature and Human Science, University of Tehran, Tehran, Iran
4. Researcher, Noor Genetics Research Center, Tehran, Iran

* Correspondence: ma.kabirian@ut.ac.ir

Abstract

Sex estimation of human skeletal remains is one of the fundamental steps in bioarchaeology and forensic anthropology, providing crucial demographic information about past populations and assisting in forensic identification cases. Traditional methods, such as the Buikstra-Ubelaker standard, offer valuable frameworks but suffer from subjective interpretations, interobserver variability, and regional morphological differences. To address these challenges, this study not only develops two fuzzy inference systems (FIS) designed to estimate the sex of skeletal remains based on morphological features, but also aims to highlight the potential of fuzzy logic in anthropological and archaeological studies. The first fuzzy system is constructed according to the Buikstra-Ubelaker standard, treating selected cranial traits equally and using predefined feature weights. The second system is developed based on empirical osteological data collected from 128 Iranian skeletal samples, integrating both cranial and pelvic features. Fuzzy rules were extracted systematically using decision tree modeling, enhancing the data-driven nature of the second system. Both fuzzy inference systems were developed using a Mamdani-type architecture and implemented in the Python programming environment. Validation of the models involved applying the first system to a dataset of 50 individuals and the second system to a dataset of 19 individuals, all with sex estimations previously made by experts and confirmed through DNA analysis. The Buikstra-Ubelaker-based system achieved an accuracy rate of 48%, whereas the empirical-data-based system demonstrated 83% accuracy. Findings indicate that fuzzy inference systems, particularly those built on empirical, population-specific data, can provide more accurate and objective sex estimations than standard-based methods. Further refinement in membership function design, feature weighting, and dataset expansion is recommended to optimize performance and enhance the applicability of fuzzy systems in archaeological and forensic contexts.

Received: 2025/04/27
Revised: 2025/09/13
Accepted: 2025/09/23
Published: 2025/12/30

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Keywords: Fuzzy Inference System, Sex Estimation, Archaeological Anthropology, Forensic, Osteological Data Analysis

Introduction

Sex estimation from human skeletal remains is a core aspect of biological anthropology, archaeology, and forensic science. Determining the biological genderof skeletal individuals enables researchers to reconstruct past demographics, understand social structures, and aid legal investigations. Over the decades, numerous morphological methods have been developed to estimate sex, with the Buikstra-Ubelaker standard (1994) standing out as one of the most widely utilized.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

Despite its widespread application, traditional sex estimation methods are not without limitations. The subjective nature of scoring morphological traits, observer bias, and varying expression of sexual dimorphism across populations all contribute to inconsistencies and inaccuracies. Additionally, these methods often do not account for the continuous variation present in human skeletal morphology, simplifying complex biological realities into binary categories.

Recent advances in computational methods, particularly artificial intelligence and fuzzy logic, have opened new avenues for handling uncertainty and imprecision inherent in skeletal sex estimation. Fuzzy inference systems (FIS) provide a mathematical framework capable of modeling degrees of membership rather than rigid classifications, making them ideal for interpreting ambiguous or intermediate morphological traits.

This study proposes the design and evaluation of two distinct fuzzy inference systems aimed at estimating sex from skeletal remains. The first system is developed based on traditional standards, specifically the Buikstra-Ubelaker method, and treats all morphological features with equal significance. The second system is constructed using empirical data collected from Iranian skeletal samples, thereby aiming to develop rules that are tailored to specific population characteristics.

Through this research, we seek to assess the efficacy of fuzzy logic in skeletal sex estimation and explore how data-driven approaches compare to traditional standards in terms of accuracy and reliability.

Methodology

The study followed a structured methodological framework involving the following key phases:

1. Data Preparation

For the standard-based system, five cranial features (nuchal crest, mastoid process, supraorbital margin, glabella, and mental eminence) were selected in accordance with the Buikstra-Ubelaker scoring guidelines. Each trait was scored on a five-point ordinal scale, with 1 indicating a strongly feminine trait and 5 indicating a strongly masculine trait.

Results

The standard-based fuzzy inference system, constructed on Buikstra-Ubelaker guidelines, achieved a classification accuracy of 48%. While it demonstrated some success in distinguishing clear cases of male or female morphology, it struggled with intermediate forms and ambiguous features.

For the empirical-data-based system, a dataset consisting of 128 Iranian skeletal samples was utilized. This dataset included both cranial and pelvic features, scored similarly on a five-point scale. Only individuals with sex confirmed by DNA testing were included to ensure ground truth reliability.

2. Rule Extraction and Selection

For the first system, rules were manually defined based on standard descriptions, assuming equal importance for all features.

For the second system, fuzzy if-then rules were extracted using decision tree algorithms, enabling the identification of complex interactions among features. This approach allowed for the creation of more nuanced and realistic rules that better captured the biological variability in the population.

3. Fuzzy System Design

Both systems were implemented using Mamdani-type fuzzy inference architecture, consisting of:

- **Input fuzzification:** Mapping crisp feature scores to fuzzy sets (e.g., " high possibility female," "possibly female", "indeterminate", "possibly male", " high possibility male ");
- **Rule evaluation:** Applying fuzzy operators (minimum) to combine antecedents;
- **Aggregation:** Combining multiple rule outputs into a single fuzzy set;
- **Defuzzification:** Converting the aggregated fuzzy output into a crisp value representing the sex estimation.

Triangular membership functions were employed for input fuzzification based on the range and distribution of feature scores.

4. System Implementation and Testing

The fuzzy systems were coded in Python, utilizing libraries such as scikit-fuzzy. Validation was carried out by applying the first system to a test set consisting of 50 individuals and the second system to a separated test set of 19 individuals.

The performance of each system was evaluated based on overall accuracy (percentage of correct classifications), along with additional analyses focusing on false positive and false negative rates.

The empirical-data-based fuzzy inference system significantly outperformed the first system, achieving an accuracy rate of 83%. This system showed a higher capacity to handle cases with intermediate scores and demonstrated better alignment with verified sex classifications.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

An in-depth error analysis revealed that the standard-based system frequently misclassified individuals with ambiguous morphological traits, due to its equal weighting of all features and its inability to capture population-specific trait variations.

Conversely, the data-driven system benefited from its rules being tailored to the specific morphological patterns observed in the Iranian skeletal sample. This allowed it to assign appropriate weights and interactions among features, resulting in improved classification performance.

Discussion

The results clearly highlight the advantages of using empirical, population-specific data for constructing fuzzy inference systems for sex estimation. The standard-based system's limited performance underscores the risks of applying uniform standards across diverse populations without accounting for regional variation in skeletal morphology.

Several factors contributed to the superior performance of the empirical-data-based system:

- **Feature Weighting:** Not all morphological traits contribute equally to sex differentiation. The decision tree modeling process enabled the system to assign greater importance to more discriminative features;
- **Population Specificity:** Morphological expressions of sex-related traits can differ significantly across populations due to genetic and environmental factors. Tailoring the rules to the specific sample improved accuracy;
- **Data-Driven Rule Formation:** Instead of relying solely on expert descriptions, empirical patterns were extracted directly from the dataset, leading to more realistic and comprehensive rules.

However, certain limitations remain. The empirical dataset, while richer than predefined standards, was still relatively small and region-specific. Expanding datasets to include broader geographical and racial diversity would further enhance model generalizability. Additionally, improvements in the design of membership functions, such as the use of adaptive or data-driven membership functions, could yield further gains in performance. Future research can focus on incorporating weighted fuzzy rules based on feature importance, exploring ensemble approaches that combine multiple fuzzy systems, applying fuzzy inference models to other skeletal elements beyond the cranium and pelvis, and investigating scalability of systems for large-scale archaeological or forensic databases.

Conclusion

This study explored the potential of fuzzy inference systems (FIS) for sex estimation based on skeletal morphology. Two systems were designed and compared: one based on the Buikstra-Ubelaker standard and the other built from empirical data collected from Iranian skeletal remains. The results showed that while the standard-based system struggled with ambiguous cases and achieved limited accuracy (48%), the empirical-data-based system performed significantly better (83%) by accounting for population-specific patterns and weighting features more effectively.

Overall, the findings support the idea that fuzzy logic, especially when combined with real data, can provide a more flexible and accurate approach to handling uncertainty in sex estimation. Instead of forcing binary decisions, fuzzy systems allow for degrees of membership and better reflect the complexity of human variation. Further improvements, such as expanding the dataset, refining membership functions, and combining multiple systems, can help make these tools even more useful for archaeological and forensic applications.

Author Contributions: All authors contributed to the preparation and writing of the manuscript.

Funding: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors upon reasonable request..

Acknowledgments: We would like to express our sincere gratitude to the editor and reviewers for their valuable guidance that helped us revise and improve the article. We also thanks Ms. Pegah Goodarzi, the PHD student in biological archaeology at Fraser university, for her guidance in the anthropology sections. It is notable that generative artificial intelligence was used to design, editing the text and optimizing the codes. This article is based on the first author s doctoral thesis on designing a fuzzy inference system for estimating the gender of human skeletal remains in the Department of Archaeology at the university of Tehran.

Conflicts of Interest: The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

پژوهه باستان‌سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

مقاله پژوهشی

طراحی سامانهٔ استنتاج فازی برای تخمین جنس یافته‌های استخوانی انسان بر پایهٔ نتایج دو مطالعهٔ ریخت‌شناسی

محمدعلی کبیریان[۱*]، سید محمود طاهری[۲]، کمال‌الدین نیکنامی[۳]، مریم رمضانی[۴]

۱. دانشجوی دکترای باستان‌شناسی، گروه باستان‌شناسی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. استاد، دانشکدهٔ علوم مهندسی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. استاد، گروه باستان‌شناسی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴. پژوهشگر، مرکز تحقیقات ژنتیک نور، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات: ma.kabirian@ut.ac.ir

چکیده

هدف این پژوهش معرفی روشی نوین بر پایهٔ منطق و ریاضیات فازی در مطالعات انسان‌شناسی و باستان‌شناسی و جلب توجه پژوهشگران به استفاده از روش‌های فازی در علوم انسانی و باستان‌شناسی است. نگارندگان این روش را به‌عنوان مطالعهٔ موردی در مطالعات تخمین جنس یافته‌های استخوانی انسان به کار برده‌اند. در همین راستا دو سامانهٔ استنتاج فازی به منظور تخمین جنس یافته‌های استخوانی انسان پیاده‌سازی شده است. هر دو سامانه بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی استخوان طراحی شده است. اولین سامانه مبتنی بر روش استاندارد بوکسترا–اُبلاکر است. دومین سامانه بر پایهٔ یافته‌های استخوانی است که با نظر انسان‌شناس زیستی و بر پایهٔ استاندارد بوکسترا–اُبلاکر تخمین جنس شده‌اند. این سامانه بر اساس یافتهٔ استخوانی مربوط به ۱۲۸ فرد است که در مرکز ژنتیک انسانی نور مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این سامانه‌ها با هدف ارتقاء روش‌های موجود برای کاهش خطاهای مرتبط با تفسیرهای انسانی و بهبود دقت و سرعت تشخیص جنس ایجاد شده‌اند. همچنین از این سامانه‌ها می‌توان در طراحی سامانه‌های هوشمند و خودکار برای مطالعات استخوانی استفاده کرد. نتایج پژوهش نشان می‌دهند که سامانه‌های استنتاج فازی در مطالعات تخمین جنس قابل استفاده هستند.

واژگان کلیدی: سامانهٔ استنتاج فازی، تخمین جنس، پزشکی قانونی، انسان‌شناسی، تحلیل داده‌های استخوان‌شناسی

دریافت: ۱۴۰۴/۲/۷
آخرین اصلاح: ۱۴۰۴/۶/۲۲
پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۱
انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۹

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، استفاده از روش‌های علوم تجربی و ریاضیات در بخش‌های گوناگون باستان‌شناسی مانند تخمین جنس[۱] استخوان‌های یافته‌شده، افزایش یافته است. تخمین جنس بر اساس ویژگی‌های استخوانی، به‌عنوان یکی از اصول اساسی در تحقیقات باستان‌شناسی، انسان‌شناسی و پزشکی قانونی، نقش مهمی در فهم جمعیت‌های باستانی و معاصر و تفسیر فرهنگی–اجتماعی و زیستی آن‌ها دارد. روش‌های مرسوم مانند استفاده از استاندارد بوکسترا–اوبلاکر که بر پایهٔ ریخت‌شناسی بخش‌هایی از اسکلت به وسیلهٔ فرد متخصص است، علی‌رغم دقت نسبتاً بالا، همواره با چالش‌هایی مانند نیاز به تجربهٔ بالا و امکان خطای انسانی همراه بوده‌اند.

با پیشرفت فناوری و به‌کارگیری سامانه‌های هوش مصنوعی، فرصت‌های جدیدی برای بهبود دقت و کارایی در این زمینه فراهم آمده است. از آن‌جا که در علوم انسانی و باستان‌شناسی، شرایط نایقینی و عدم قطعیت بسیار است،

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

نگارندگان بر آن شدند تا رویکردی کم‌تر شناخته‌شده برای مواجهه با عدم قطعیت، یعنی منطق فازی و ریاضیات فازی را مورد توجه پژوهشگران قرار دهند. در همین راستا تلاش شد از سامانهٔ استنتاج فازی برای تخمین جنس یافته‌های استخوانی استفاده شود. در واقع این پژوهش، تحقیقی بر پایهٔ روش‌شناسی است و قصد دارد رویکردی جدید را تبیین کند. به همین منظور این مقاله به بررسی و طراحی دو سامانهٔ استنتاج فازی می‌پردازد که با هدف معرفی این رویکرد برای تخمین جنس، جلب توجه پژوهشگران به کاربرد آن در ارتقای روش‌های موجود، و کاهش خطاهای مرتبط با تفسیر انسانی طراحی شده‌اند. اولین سامانه بر اساس استانداردی که به وسیلهٔ بوکسترا و اوبلاکر توسعه یافته است و دومین سامانه با استفاده از یافته‌های استخوانی مربوط به ۱۲۸ اسکلت انسانی پیاده‌سازی شده است. این روش را می‌توان برای گروه‌های نژادی گوناگون به کار گرفت. سامانهٔ استنتاج فازی طراحی‌شده بخشی از فرآیند هوشمندسازی و خودکارسازی (Automation) شناسایی، ثبت و تحلیل یافته‌ها و داده‌های استخوانی است.

بدیهی است که روش پیشنهادی در آغاز راه است و ممکن است کارایی ایدئال را نداشته باشد، اما پژوهشگران به علت آن‌که معتقدند استفاده از روش‌های فازی در علوم انسانی و باستان‌شناسی کاربردی است و باید مورد توجه قرار گیرد، این پژوهش را انجام دادند. دلیل اعتقاد نگارندگان جنس منطق فازی و ریاضیات فازی است. تا پیش از معرفی منطق فازی، رویکرد ریاضی برای برخورد با عدم قطعیت استفاده از نظریه‌ی احتمال بوده است (Dubois & Prade, 1988) و باور رایج این بود که عدم قطعیت ماهیت احتمالی دارد و ناشی از شانس است، اما مواردی وجود دارد که در آن‌ها عدم قطعیت ناشی از شانس نیست، بلکه ممکن است اطلاعات ما از سامانهٔ نادقیق، مبهم یا ناکافی باشد. این موارد در علوم انسانی و باستان‌شناسی فراوان است. برای این‌گونه موارد به‌جای استفاده از نظریهٔ احتمال که فقط مربوط به عدم قطعیت ناشی از تصادف و شانس است، نظریات گوناگونی مطرح شد. یکی از نظریات مطرح‌شده در این باره، نظریهٔ امکان است. اگرچه زاده اولین کسی نیست که درباره‌ی مفاهیم امکان صحبت می‌کند، اما برای اولین‌بار، «نظریهٔ امکان» (Zadeh, 1978) را با الهام از مقالهٔ گِینز و کُهُت (Gaines & Kohout, 1975) معرفی کرد (Dubois & Prade, 2015). نظریهٔ امکان نظریه‌ای ریاضیاتی برای تحلیل عدم قطعیت است (Agarwal & Nayal, 2015). آن چیزی که تفاوت این دو نظریه را رقم می‌زند آن است که نظریهٔ امکان برای عدم قطعیت حاصل از ابهام و ناقص بودن اطلاعات است (Agarwal & Nayal, 2015)، اما نظریهٔ احتمال برای نوعی از عدم قطعیت کاربرد دارد که مبتنی بر شانس، تصادف و فراوانی است . نظریهٔ مجموعه‌های فازی یک پایهٔ طبیعی برای نظریهٔ امکان فراهم می‌کند. مانند آنچه نظریهٔ اندازه در قبال نظریهٔ احتمال ایفا کرده است (Zadeh, 1965).

در مطالعهٔ پیش رو پس از بررسی پیشینهٔ پژوهش در بخش ۲، به بیان انواع روش‌های تخمین، تعیین و شناسایی جنس در بخش ۳ پرداخته می‌شود. پس از آن در بخش ۴ سامانهٔ استنتاج فازی توضیح داده خواهد شد. در ادامه در دو بخش ۵ و ۶، دو سامانهٔ استنتاج فازی، یکی بر اساس استاندارد بوکسترا–اوبلاکر و دیگری بر اساس داده‌های تجربی، برای تخمین جنس یافته‌های استخوانی انسان طراحی می‌شود. در نهایت، در بخش پایانی به بحث و نتیجه‌گیری پرداخته خواهد شد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

از حدود سه دههٔ گذشته به این سو چندین مطالعه در زمینهٔ کاربرد ریاضیات و منطق فازی در باستان‌شناسی صورت گرفته است (Niccolucci et al., 1996; Canal & Cavazzoni, 1990). از این میان می‌توان به مجموعهٔ مطالعات نیکولوچی، هِرمون و همکاران مانند استفاده از منطق فازی برای تحلیل سن، جنس و گاه‌شماری یافته‌های باستان‌شناسی (Niccolucci et al., 2001)، گونه‌شناسی یافته‌های باستان‌شناسی با استفاده از ریاضیات فازی و مقایسهٔ آن با روش‌های غیرفازی (Hermon et al., 2004)، بخشی از کتاب ریاضیات و باستان‌شناسی که دربارهٔ استفاده از منطق و ریاضیات فازی در باستان‌شناسی بحث می‌کند (Niccolucci & Hermon, 2015) و استفاده از منطق فازی برای حل مشکل منشأیابی زمانی و مکانی فرهنگ‌های باستانی (Hermon & Niccolucci, 2017) اشاره کرد. از دیگر مطالعات می‌توان به پژوهش مورفی و همکاران که در آن از تحلیل فازی در مطالعهٔ چشم‌انداز و شبکهٔ ارتباطی شامل قلعه‌ها، جاده‌ها و برج‌ها در منطقه‌ای در جنوب اسکاتلند می‌پردازند (Murphy et al., 2018)، مطالعهٔ فیگوارا در رابطه با ارزیابی قابلیت اعتماد اسناد در منابع باستان‌شناسی با استفاده از رویکرد فازی (Figuera, 2021)، پژوهش میگلیورینی و همکاران که از ریاضیات و منطق فازی برای تاریخ‌گذاری استفاده می‌کنند (Migliorini et al., 2022) و مطالعهٔ کَفیتزاکی و همکاران که از منطق فازی برای گونه‌شناسی ظروف رومی استفاده می‌کنند (Kafetzaki et al., 2023)، اشاره کرد. از پژوهش‌های داخلی می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد. مطالعهٔ مقصودی و همکاران که با استفاده از منطق فازی نقش عوامل محیطی را در تعیین مکان‌گزینی سکونتگاه‌های دشت ورامین بررسی کرده اند (مقصودی و همکاران ۱۳۹۴). دو مطالعه از طاهری و همکاران که در مطالعهٔ اول کاربردهای گوناگون ریاضیات فازی در بخش‌های مختلف باستان‌شناسی تشریح شده و نمونه‌ای از این کاربردها بیان شده است (طاهری و همکاران ۱۳۹۶). در مطالعهٔ دوم فازی‌سازی داده‌های باستان‌شناسی به‌منظور استفاده در آمار فازی، مورد توجه قرار گرفته است (طاهری و همکاران ۱۳۹۷ الف). پژوهش علیرضازاده و همکاران که در آن مدلی برای پیش‌بینی محوطه‌های مس و سنگ در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از GIS و منطق فازی ارایه می‌شود (مهدی علیرضازاده و همکاران ۱۳۹۹).

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

در رابطه با سامانه‌های استنتاج فازی، اگرچه از این نوع سامانه‌ها در بخش‌های گوناگون دانش و صنعت استفاده شده است؛ اما در باستان‌شناسی این موضوع کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. از پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با استفاده از سامانه‌های استنتاج فازی در باستان‌شناسی می‌توان به پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد با عنوان *کاربرد منطق فازی در باستان‌شناسی (مطالعه‌ی موردی؛ کورگان‌های جعفرآباد و طوعلی سفلی)* (کبیریان، ۱۳۹۷) و مقالات مستخرج از آن (طاهری و همکاران، ۱۳۹۷ ب ؛ Taheri et al., 2019) اشاره کرد.

۳. روش‌های بررسی جنس استخوان انسان

به‌طور کلی روش‌های بررسی جنس را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد (Klales, 2020).

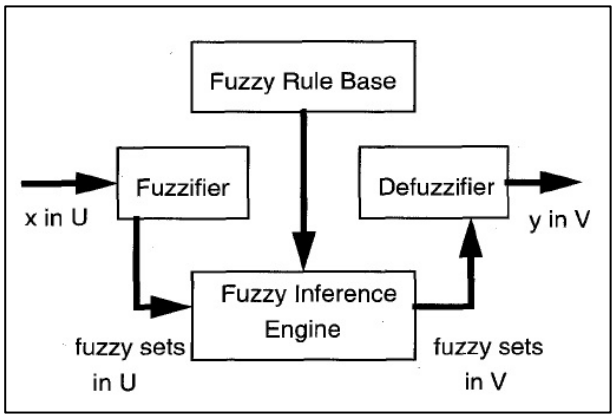
- ریخت‌شناسی: در این روش با استفاده از فرم و شکل استخوان یا مجموعه‌ای از استخوان‌ها مانند جمجمه و مقایسه با فرم‌ها و شکل‌هایی که پیش از این، جنس آن‌ها از طریق مطالعات علمی مشخص شده‌اند، به تخمین جنس می‌پردازند. این روش به صورت قطعی جنس را مشخص نمی‌کند و با درصدی خطا و با احتمال همراه است؛
- اندازه‌گیری: در این روش با استفاده از اندازه‌های استخوان‌های بخش‌های مختلف بدن و مقایسهٔ آن‌ها با اندازه‌های استاندارد که در هر جمعیت قومی و برای هر جنس میزان مشخصی دارند، نمونهٔ مورد نظر تخمین جنس می‌شود. این روش هم مانند روش پیشین با خطا و احتمال همراه است؛
- آمار و پایگاه داده: در این روش داده‌هایی که از طریق ریخت‌شناسی و یا اندازه‌گیری به دست آمده‌اند با استفاده از روش‌های آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. روش‌های آماری که در تخمین جنس استفاده می‌شوند، شامل آمار پارامتری مانند رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی ساده؛ آمار ناپارامتری مانند کِی–نزدیک‌ترین همسایه (k-nearest neighbor) و برآورد چگالی (kernel probability density) است. همچنین روش‌هایی اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. مانند یادگیری ماشین (machine learning) و تجزیه و تحلیل ریخت‌سنجی هندسی (geometric morphometric analyses)(Klales et al., 2020)؛
- دی‌ان‌ای: این روش دقیق‌ترین روش برای تعیین جنس است. به‌خصوص برای بقایای استخوانی نوجوانان و کودکان (پیش از بلوغ جنسی) و بقایای استخوانی آشفته و مبهم، اما برای استفاده از این روش دو مسئلهٔ اساسی وجود دارد. اول این‌که بقایای استخوانی باید برای استخراج دی‌ان‌ای شرایط لازم و کافی را داشته باشد و قسمت‌هایی که برای استخراج دی‌ان‌ای مورد نیاز است، سالم باشد. دوم آن‌که این روش بسیار پرهزینه است و برای همهٔ پژوهشگران قابل استفاده نیست. به‌خصوص هنگامی که تعداد بقایای یافت‌شده زیاد باشد (Thomas, 2020).

روش به کار گرفته شده در این پژوهش در چهارچوب روش سوم یعنی آمار و پایگاه داده قرار می‌گیرد.

٤. سامانهٔ استنتاج فازی

سامانه‌های استنتاج فازی، سامانه‌های مبتنی بر دانش و قواعد اگر–آن‌گاه هستند. با استفاده از این سامانه‌ها می‌توان یک پایگاه دانش را به یک نگاشت غیرخطی تبدیل کرد (وانگ و همکاران، ۱۳۷۸). به‌طور خلاصه نقطهٔ شروع ساخت یک سامانهٔ استنتاج فازی به دست آوردن مجموعه‌ای از قواعد اگر–آن‌گاه فازی از افراد متخصص یا زمینهٔ مورد نظر است. مرحلهٔ بعد، ترکیب این قواعد در یک سامانهٔ واحد است. ترکیب این قواعد، اصول و روش‌های گوناگونی دارد که هر کدام تابعی از نوع سامانهٔ فازی انتخاب شده می‌باشد.

در این پژوهش از یکی ازکارآمدترین و رایج‌ترین سامانه‌ها به اسم ممدانی (Mamdani) استفاده شده است. این نوع سامانه برای اولین بار به وسیلهٔ ممدانی و اسیلیان معرفی شد (Mamdani & Assilian, 1975). روند کلی سامانهٔ ممدانی مانند شکل زیر است (شکل ۱).



شکل ۱. مراحل کلی سامانه استنتاج فازی از نوع ممدانی (Wang, 1997)

Figure 1. General steps of a Mamdani-type of fuzzy inference system

سامانهٔ ممدانی از ۵ مرحلهٔ اصلی فازی‌سازی (Fuzzification) ورودی‌ها، اعمال عملگر (Operation) فازی، اعمال استلزام (Implication) فازی، اعمال تجمیع (Aggregation) فازی و غیرفازی‌سازی (Defuzzification) تشکیل شده است.

برای توضیح بهتر، هر کدام از این مراحل بر اساس یک مثال که در آن یک سامانهٔ استنتاج فازی ممدانی برای انعام‌دادن در یک رستوران طراحی می‌شود، توضیح داده خواهد شد[۲]. این سامانه به‌گونه‌ای طراحی شده است که

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

اگر به کیفیت غذا و خدمات از ۱ تا ۱۰ امتیاز بدهیم، در نهایت مقداری که باید انعام بدهیم را محاسبه کند. فرض می‌شود سه قاعده داریم که بر اساس آن می‌خواهیم سامانه استنتاج فازی را طراحی کنیم.

- قاعدهٔ یک: اگر خدمات ضعیف باشد یا غذا بد باشد، آن‌گاه مقدار انعام کم است؛
- قاعدهٔ دو: اگر خدمات خوب باشد، آن‌گاه مقدار انعام متوسط است؛
- قاعدهٔ سه: اگر خدمات عالی باشد یا غذا بی‌نظیر باشد، آن‌گاه مقدار انعام زیاد است.

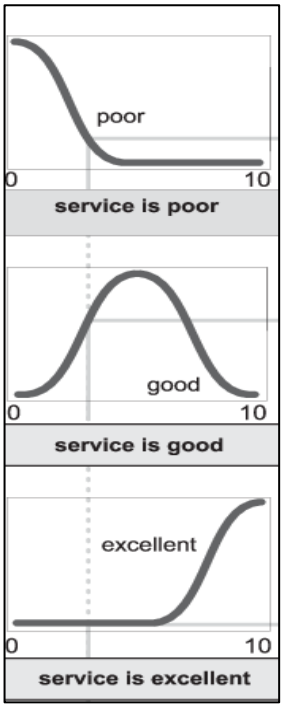
بر اساس این سه قاعده مراحل را توضیح می‌دهیم:

۱. فازی‌سازی (Fuzzification) ورودی‌ها: در این مرحله، ورودی‌های عددی سامانه به مقادیر فازی تبدیل می‌شوند. این کار با استفاده از توابع عضویت صورت می‌گیرد. به این شکل که هر مقدار ورودی به یک درجهٔ عضویت در مجموعه‌های فازی مرتبط اختصاص می‌یابد (Zadeh, 1965). در مثال مورد بحث، ورودی‌ها، کیفیت خدمات و غذا هستند. کیفیت خدمات، سه دسته ضعیف، خوب و عالی و کیفیت غذا دو دسته بد و بی‌نظیر دارد. هر کدام از این واژه‌ها با یک تابع مجموعه فازی برای سامانه تعریف شده است. برای نمونه مجموعهٔ فازی واژه‌های ضعیف، خوب و عالی به شکل زیر است (شکل ۲).

حال اگر میزان رضایت ما از کیفیت خدمات از بین ۱ تا ۱۰، عدد ۳ باشد آنگاه با توجه به مجموعه‌های فازی که برای ضعیف، خوب و عالی تعریف کردیم، درجه عضویت برای هر کدام آن‌ها به ترتیب ۰/۲، ۰/۶۵ ، ۰ به دست می‌آید. این به آن معناست که اگر نمره ما به خدمات ۳ باشد آنگاه خدمات به میزان ۰/۲ ضعیف، ۰/۶۵خوب و ۰ عالی است.

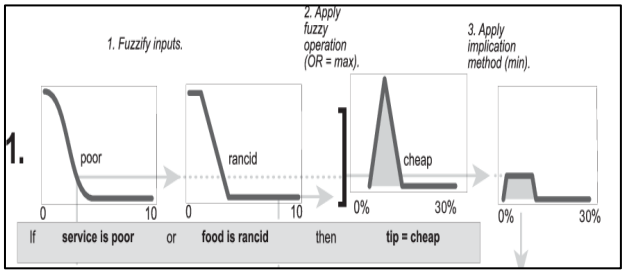
۲. عملگرهای مجموعه ای (Set Operators) فازی: در این بخش باید عملگر مناسب برای هر قاعده انتخاب شود. دو عملگر "و" و "یا" وجود دارند که بسته به نوع و شرایط قواعد از آن‌ها استفاده می‌شود. در قاعده یکِ مثال مورد نظر از عمگر "یا" استفاده شده است (اگر خدمات ضعیف باشد **یا** غذا بد باشد).

۳. عملگر استلزام (Implication Operator) فازی: استلزام فرآیندی است که مشخص می‌کند چگونه درجه عضویت ورودی‌ها در مجموعه‌های فازی بر نتیجه قواعد تأثیر می‌گذارند. به عبارت دیگر، پس از تعیین میزان درستی بخش مقدم قاعده (اگر)، مقدار خروجی (آن‌گاه) تعیین می‌شود. در سامانه‌های ممدانی دو استلزام ضرب و کمینه وجود دارند. در مثال پیش رو از استلزام کمینه استفاده شده است. این بدان معنا است که برای نمونه در قاعده یک (اگر خدمات ضعیف باشد یا غذا بد باشد، آنگاه انعام کم است) اگر درجه عضویت کیفیت خدمات ۳ و کیفیت غذا ۸ باشد آن‌گاه در مرحلهٔ استلزام مقدار تابع عضویت خروجیِ «کم» تا مقدار کمترین مقدار اجتماع درجه عضویت دو ورودی، محدود می‌شود (شکل ۳).



شکل ۲. نمودار مجموعه‌های فازی برای ضعیف، خوب و عالی (Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems, 2024)

Figure 2. Fuzzy set diagrams for poor, good and excellent



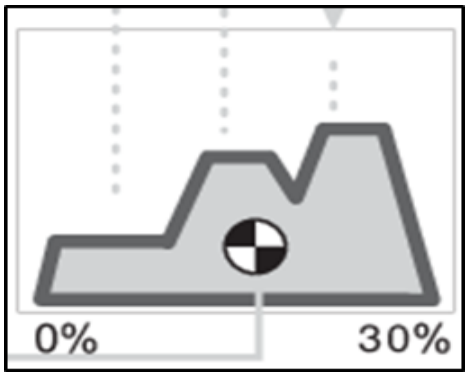
شکل ۳. نمودار اعمال استلزام (Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems, 2024)

Figure 3. Implication diagram

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

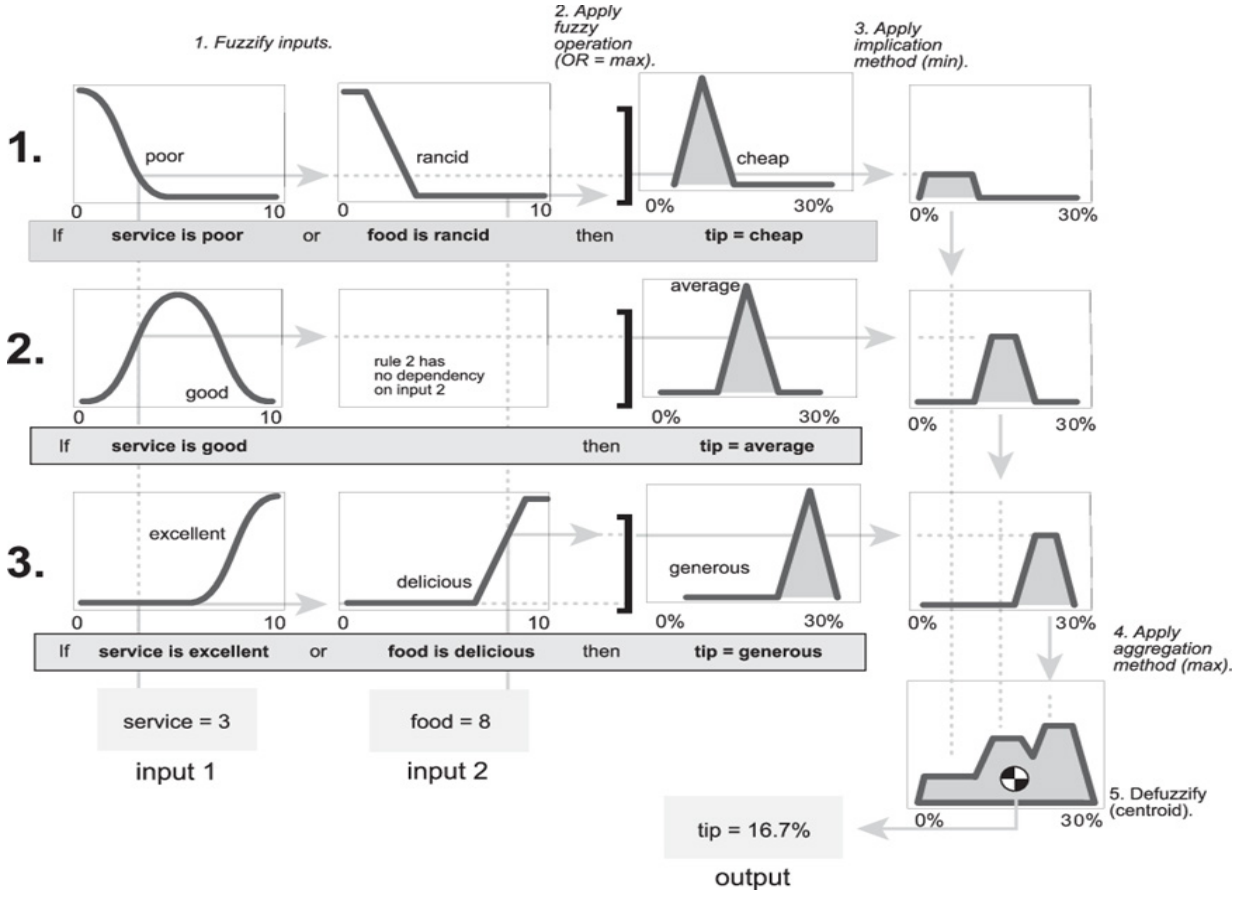
٤. عملگر تجمیع (Aggregation Operator) فازی: در این مرحله، خروجی‌های حاصل از تمام قواعد ترکیب می‌شود. از آنجایی که هر قاعده ممکن است مقدار خروجی متفاوتی داشته باشد، باید این خروجی‌ها به یک مجموعه فازی نهایی تبدیل شود. در نمونه پیش رو نتیجه ترکیب هر قاعده با روش بیشینه، به شکل زیر است (شکل ۴).

۵. غیرفازی‌سازی (Defuzzification): در این مرحله، خروجی فازی به یک مقدار عددی دقیق تبدیل می‌شود تا قابل فهم و سنجش شود. یکی از رایج‌ترین روش‌های غیرفازی‌سازی، روش مرکز ثقل (Center of Gravity or Centroid) است. در این روش مقدار خروجی را بر اساس میانگین وزنی مقادیر ممکن تعیین می‌کنند. در نمونهٔ مورد بحث، نمودار نهایی که در بخش قبل نشان داده شد (شکل ۴)، از طریق روش مرکز ثقل غیرفازی شد و مقدار ۱۶/۷ برای آن به دست آمد. در واقع این عدد برآیندی از نمودار است. شکل ۵ سامانهٔ استنتاج فازی مثال مورد بحث به همراه مراحل آن است.



شکل ٤. نمودار خروجی سامانه حاصل از ترکیب نتیجه همه قواعد به صورت یک مجموعه فازی (Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems, 2024)

Figure 4. Aggregation output diagram



شکل ۵. سامانهٔ استنتاج فازی برای انعام دادن و مراحل آن (Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems, 2024)

Figure 5. Fuzzy inference system for tipping and its step

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

در ادامهٔ مراحلی که برای طراحی سامانهٔ استنتاج فازی برای تخمین جنس یافته‌های استخوانی تدوین شده‌اند، آورده می‌شود. برای طراحی این سامانه، پنج مرحلهٔ زیر در نظر گرفته شده است.

آماده‌سازی داده‌ها: در این مرحله داده‌هایی که بر اساس آن‌ها سامانه طراحی می‌شود، جمع‌آوری شده و سپس پاک‌سازی خواهند شد؛

استخراج قواعد از داده‌ها: در این مرحله بر اساس دانشی که از داده‌ها استخراج می‌شود و دانش فرد متخصص، یک مجموعهٔ قاعدهٔ اگر–آن‌گاه تعریف می‌شود؛

گزینش قواعد: در این مرحله قواعد بررسی شده و کارآمدترین آن‌ها انتخاب می‌شوند؛

آماده‌سازی پایگاه قواعد: در این مرحله متغیرهای ورودی و خروجی و همچنین نوع توابع عضویت و مجموعه‌های فازی برای هر کدام از متغیرها تعریف می‌شوند؛

اجرای سامانهٔ استنتاج فازی و پیاده‌سازی نهایی: در نهایت در این بخش نوع سامانه استنتاج فازی، عملگر مناسب، روش استلزام مناسب، روش تجمیع و غیرفازی‌سازی انتخاب شده و سامانه اجرا می‌شود.

اکنون که سامانهٔ استنتاج فازی ممدانی و مراحل طراحی سامانهٔ استنتاج فازی برای تخمین جنس توضیح داده شد، در دو بخش بعدی، دو مطالعهٔ موردی انجام خواهد شد که در هرکدام، یک سامانهٔ استنتاج فازی برای تخمین جنس طراحی شده است.

۵. طراحی سامانهٔ استنتاج فازی بر اساس استاندارد بوکسترا–اُبلاکر

استاندارد بوکسترا–اُبلاکر (Buikstra & Ubelaker, 1994) که یک کتاب مرجع از دستورالعمل‌ها در مطالعات انسان‌شناسی زیستی است، مبنای کار این بخش از پژوهش حاضر است.

در استاندارد بوکسترا–اُبلاکر برای تعیین جنس بر اساس ریخت‌شناسی جمجمهٔ انسان، پنج ناحیه از جمجمه مورد نظر قرار گرفته است:

ستیغ نوکال (Nuchal Crest)؛

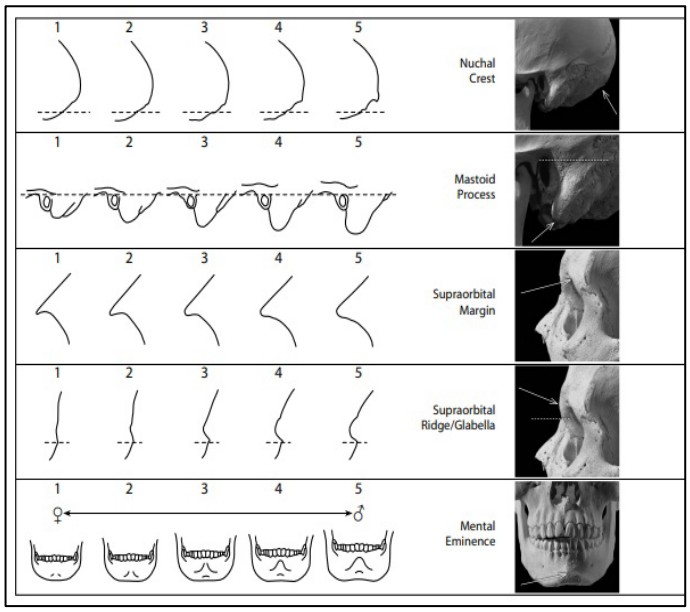
زائدهٔ پستانی (Mastoid Process)؛

حاشیهٔ بالای حدقهٔ چشم (Supraorbital Margin)؛

برجستگی مابین دو ابرو (Supraorbital Ridge/Glabella)؛

برجستگی چانه‌ای (Mental Eminence).

تخمین جنس بر اساس این استاندارد به این صورت است که فرم هرکدام از این نواحی به پنج گونه تقسیم شده است (به‌طور مثال، زائده پس‌گوشی، از خیلی برجسته تا کم‌تر برجسته به ۵ حالت تقسیم شده) و از ۱ تا ۵ نمره‌دهی شده است. ۱ به معنی زن ، ۲ به معنی احتمالاً زن، ۳ به معنی خنثی، ۴ به معنی احتمالاً مرد و ۵ به معنی مرد است (شکل ۶). هرکدام از این نواحی به وسیلهٔ فرد متخصص نمره‌دهی شده است و در پایان برآیند آن‌ها، جنس جمجمه را مشخص می‌کند.



شکل ٦. امتیازدهی کیفی برای ویژگی‌های جمجمه بر اساس استاندارد بوکسترا–اُبلاکر (White et al., 2012)

Figure 6. Buikstra-Ubelaker standard

در ادامه بر اساس این استاندارد یک سامانهٔ استنتاج فازی برای تعیین جنس جمجمه طراحی می‌شود. همان‌طور که پیش از این گفته شد مراحل طراحی سامانهٔ استنتاج فازی شامل آماده‌سازی داده‌ها، استخراج قواعد از داده‌ها، گزینش قواعد، آماده‌سازی پایگاه قواعد، اجرای سامانهٔ استنتاج فازی و پیاده‌سازی نهایی است. در این نمونه، مرحلهٔ جمع‌آوری داده‌ها به وسیلهٔ پژوهش بوکسترا–اُبلاکر انجام شده است. در واقع آن‌ها بر اساس داده‌ها و یافته‌هایی که داشته‌اند، یک مجموعهٔ استاندارد برای تخمین جنس تعریف کرده‌اند.

۵–۱. استخراج قواعد از داده

مجموعه قواعدی که استاندارد بوکسترا–اُبلاکر را تشکیل می‌دهد در واقع همان قواعد اگر آنگاه مورد نیاز ما است. فقط نیاز است تا قواعد استاندارد را به قواعد اگر–آنگاه تبدیل کرد. برای نمونه قاعده‌ای که بیان می‌کند شبیه بودن شکل ستیغ نوکال (Nuchal Crest) به مورد شماره ۲ نشان دهنده‌ی احتمال زن بودن فرد است ، می‌تواند بصورت یک قاعده اگر– آنگاه بازنویسی شود:

اگر ستیغ نوکال (Nuchal Crest) ۲ باشد، آنگاه جنس فرد احتمالا زن است.

این قواعد را می‌توان برای همه این استانداردها تبیین کرد. در جدول ۱ فهرست کل قواعد نوشته شده بر اساس استاندارد آورده شده است.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

جدول ۱. قواعد اگر–آن‌گاه بر اساس استاندارد بوکسترا–اُبِلاکر

Table 1. If-then rules based on Buikstra-Ubelaker standard

Row	Principle
1	If Nuchal Crest is 1, then sex is “high possibility female”
2	If Nuchal Crest is 2, then sex is “possibly female”
3	If Nuchal Crest is 3, then sex is “indeterminate”
4	If Nuchal Crest is 4, then sex is “possibly male”
5	If Nuchal Crest is 5, then sex is “high possibility male”
6	If Mastoid Process is 1, then sex is “high possibility female”
7	If Mastoid Process is 2, then sex is “possibly female”
8	If Mastoid Process is 3, then sex is “indeterminate”
9	If Mastoid Process is 4, then sex is “possibly male”
10	If Mastoid Process is 5, then sex is “high possibility male”
11	If Supraorbital Margin is 1, then sex is “high possibility female”
12	If Supraorbital Margin is 2, then sex is “possibly female”
13	If Supraorbital Margin is 3, then sex is “indeterminate”
14	If Supraorbital Margin is 4, then sex is “possibly male”
15	If Supraorbital Margin is 5, then sex is “high possibility male”
16	If Supraorbital Ridge/Glabella is 1, then sex is “high possibility female”
17	If Supraorbital Ridge/Glabella is 2, then sex is “possibly female”
18	If Supraorbital Ridge/Glabella is 3, then sex is “indeterminate”
19	If Supraorbital Ridge/Glabella is 4, then sex is “possibly male”
20	If Supraorbital Ridge/Glabella is 5, then sex is “high possibility male”
21	If Mental Eminence is 1, then sex is “high possibility female”
22	If Mental Eminence is 2, then sex is “possibly female”
23	If Mental Eminence is 3, then sex is “indeterminate”
24	If Mental Eminence is 4, then sex is “possibly male”
25	If Mental Eminence is 5, then sex is “high possibility male”

۵-۲. گزینش قواعد از داده

در این مرحله، قواعد بررسی‌شده و موثرین آن‌ها گزینش می‌شوند. در مطالعه پیش رو برای آنکه همه حالت‌های ممکن درنظر گرفته شوند، هیچ قاعده‌ای حذف نشده است و تمامی ۲۵ قاعده برای تعریف در سامانه استنتاج فازی در نظر گرفته می‌شود.

۵-۳. آماده‌سازی پایگاه قواعد

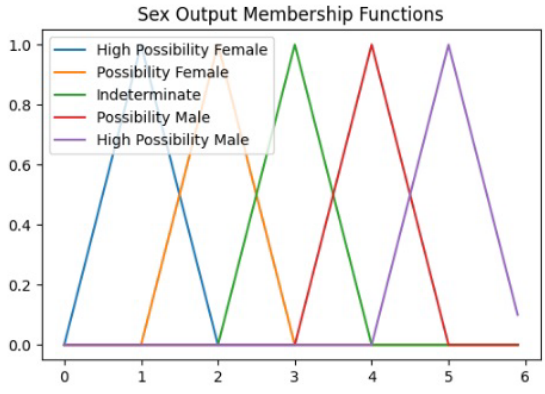
در این مرحله متغیرهای ورودی و خروجی و توابع عضویت مربوط به هر کدام تعریف می‌شود.

متغیرهای ورودی: ستیغ نوکال (Nuchal Crest)، زائده پستانی (Mastoid Process)، حاشیه بالای حدقه چشم (Supraorbital Margin)، برجستگی مابین دو ابرو (Supraorbital Ridge/Glabella)، برجستگی چانه‌ای (Mental Eminence)؛

متغیر خروجی: جنس (Sex).

برای هر کدام از متغیرهای ورودی و خروجی یک تابع عضویت تعریف می‌شود. در اینجا از تابع عضویت مثلثی فازی برای تعریف متغیرهای ورودی و خروجی استفاده شد.

برای هر کدام از متغیرهای ورودی، ۵ تابع عضویت برای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ تعریف می‌شود (شکل‌های ۷ تا ۱۱). برای متغیر خروجی جنس هم ۵ تابع عضویت شامل امکان زیاد زن، امکان زن‌بودن، خنثی، امکان مردبودن و با امکان بالا مرد تعریف شد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. نمودار تابع عضویت جنس (Sex)

Figure 12. Membership function diagram for Sex

در ادامه یک نمودار از متغیرهای ورودی و نمودار متغیر خروجی توضیح داده خواهد شد.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

۵-۳-۱. متغیر ورودی

برای متغیر ورودی شکل ۷ را در نظر می‌گیریم.. این نمودار تابع عضویت فازی مربوط به ویژگی ستیغ نوکال را نشان می‌دهد. در این نمودار، مقادیر متغیر ورودی در بازهٔ ۱ تا ۵ قرار گرفته و به پنج مجموعهٔ فازی مجزا تقسیم شده است. هر مجموعه با یک تابع عضویت مثلثی تعریف شده است که میزان تعلق هر مقدار به یک دستهٔ خاص را تعیین می‌کند.

در این تابع عضویت:

محور افقی نشان‌دهندهٔ مقادیر عددی ویژگ ستیغ نوکال است که در دامنهٔ ۱ تا ۵ متغیر است؛

محور عمودی درجهٔ عضویت (Membership Degree) را در بازهٔ ۰ تا ۱ نشان می‌دهد. مقدار ۱ به معنی تعلق کامل، مقدار صفر به معنی عدم تعلق و مقادیر بین صفر و یک به معنی درجه‌ای از تعلق به یک مجموعهٔ فازی است؛

مجموعه‌های فازی با برچسب‌های ۱، ۲، ۳، ۴و ۵ مشخص شده‌اند که هرکدام بیانگر مقدار ستیغ نوکال هستند.

توابع عضویت مثلثی به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که هم‌پوشانی بین مجموعه‌ها حفظ شود. این هم‌پوشانی باعث می‌شود که یک مقدار مشخص (مثلاً ۲/۵) بتواند به‌طور همزمان در دو مجموعهٔ فازی عضویت داشته باشد (مثلاً بخشی در مجموعهٔ ۲ و بخشی در مجموعهٔ ۳). این خاصیت باعث می‌شود سامانه‌های استنتاج فازی عدم قطعیت موجود در داده‌های ریخت‌شناسی را دقیق‌تر مدل‌سازی کنند.

۵-۳-۲. متغیر خروجی

برای متغیر خروجی شکل ۱۲ را در نظر بگیرید. این نمودار تابع عضویت فازی مربوط به خروجی جنس را نشان می‌دهد که به پنج مجموعهٔ فازی مجزا تقسیم شده است. هر مجموعه با یک تابع عضویت مثلثی تعریف شده است که میزان تعلق یک نمونه به هر دسته را مشخص می‌کند.

در این تابع عضویت:

محور افقی نشان‌دهندهٔ مقادیر خروجی جنس در بازهٔ ۱ تا ۵ است؛

محور عمودی درجهٔ عضویت (Membership Degree) هر مقدار را در یکی از مجموعه‌های فازی در بازهٔ ۰ تا ۱ نمایش می‌دهد. مقدار ۱ به معنی تعلق کامل، مقدار صفر به معنی عدم تعلق و مقادیر بین صفر و یک به معنی درجه‌ای از تعلق به یک مجموعه فازی است؛

پنج مجموعهٔ فازی در این مدل تعریف شده‌اند:

با امکان زیاد زن با مقدار ۱؛

امکان زن‌بودن با مقدار ۲؛

خنثی با مقدار ۳؛

امکان مردبودن با مقدار ۴؛

با امکان زیاد مرد با مقدار ۵.

مانند نمودار تابع عضویت ورودی، توابع عضویت به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که هم‌پوشانی بین مجموعه‌های مجاور حفظ شود. همان‌طور که گفتیم، این خاصیت باعث می‌شود یک مقدار مشخص (مثلاً ۲/۵) بتواند همزمان در دو مجموعه عضویت داشته باشد (مثلاً برای ۲/۵، هم در مجموعهٔ «خنثی» و هم در مجموعهٔ فازی «امکان زن‌بودن» عضویت دارد.)

۵-٤. اجرای سامانه استنتاج فازی و پیاده‌سازی نهایی

در این مطالعه، سامانه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون طراحی شده است. برای اجرای سامانه از روش ممدانی که پیش از این در بخش ۴ دربارهٔ آن توضیح دادیم، استفاده شد. همان‌طور که پیش از این گفتیم، متغیرهای ورودی و خروجی با توابع عضویت مثلثی تعریف شده‌اند، که این توابع عضویت نحوهٔ تعلق ورودی‌ها به دسته‌بندی‌های فازی مختلف را مشخص می‌کنند. اعمال استلزام (Implication) در این سامانه از طریق قواعد اگر-آن‌گاه (If-Then) که با عملگر کمینه (Min) تعریف شده‌اند، انجام می‌شود. این عملگر میزان تأثیر هر قاعدهٔ فعال‌شده را بر تابع عضویت خروجی مشخص می‌کند. همچنین برای تجمیع (Aggregation) خروجی‌ها از روش بیشینه (Max) استفاده می‌شود. در نهایت، غیرفازی‌سازی از طریق روش مرکز ثقل (Center of Gravity or Centroid) انجام می‌گیرد. این روش به‌عنوان یکی از دقیق‌ترین روش‌های غیرفازی‌سازی شناخته شده و موقعیت مرکز ثقل تابع عضویت فعال‌شده را محاسبه می‌کند تا مقدار عددی دقیقی به‌عنوان خروجی سامانه تولید شود. این ساختار به ما اجازه می‌دهد تا با استفاده از داده‌های فازی و درجاتی از عدم قطعیت، تحلیل‌هایی دقیق و قابل‌تفسیر ارائه دهیم.

۵-۵. نمونه‌ای از استفاده از سامانهٔ طراحی‌شده

فرض کنید یک نمونه داریم که شاخص‌های استخوانی آن به شکل زیر نمره‌دهی شده‌اند:

ستیغ نوکال (Nuchal Crest)= ۳؛

زائدهٔ پستانی (Mastoid Process)= ۴؛

حاشیهٔ بالای حدقهٔ چشم (Supraorbital Margin)= ۴؛

برجستگی مابین دو ابرو (Supraorbital Ridge/Glabella)= ۴؛

برجستگی چانه‌ای (Mental Eminence)= ۵.

حال برای تخمین جنس این نمونه، ورودی‌ها وارد سامانه می‌شوند. سامانه پس از تجزیه و تحلیل نتیجهٔ زیر را به ما می‌دهد:

Membership degree for 'High Possibility Female': 0.00

Membership degree for 'Possibly Female': 0.00

Membership degree for 'Indeterminate': 0.00

Membership degree for 'Possibly Male': 1.00

Membership degree for 'High Possibility Male': 0.00

Predicted Sex: Possibly Male

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

سامانه درجهٔ عضویت متناظر با هرکدام از خروجی‌ها را حساب می‌کند و در نهایت خروجی با بیش‌ترین درجهٔ عضویت را به‌عنوان خروجی نهایی مشخص می‌کند. در این نمونه درجهٔ عضویت‌ها به شرح زیر هستند:

با امکان زیاد زن=۰؛

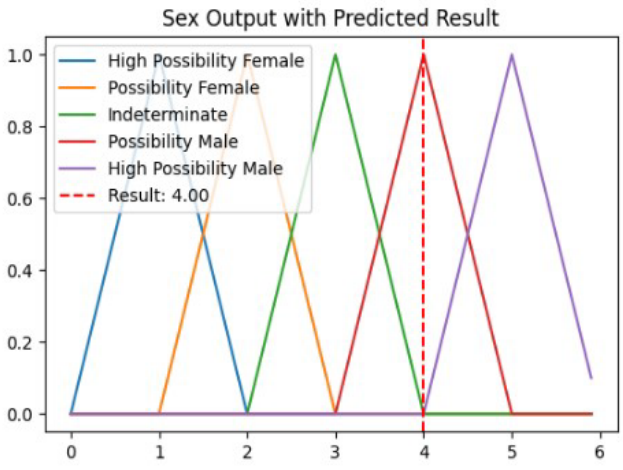
امکان زن‌بودن=۰؛

خنثی=۰؛

امکان مردبودن=۱؛

با امکان زیاد مرد=۰.

بیش‌ترین درجهٔ عضویت مربوط به امکان مردبودن است که به‌عنوان خروجی نهایی مشخص می‌شود. نمودار متناظر با این نمونه در ادامه آورده شده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. نمودار خروجی نمونه فرضی

Figure 13. Sample output diagram

۵-۶. ارزیابی سامانهٔ طراحی‌شده

سامانهٔ استنتاج فازی طراحی‌شده را با تعداد ۵۰ اسکلت که ویژگی‌های استخوانی (متغیرهای ورودی) آن مشخص بودند و جنس (متغیر خروجی) هر کدام از آن‌ها به وسیلهٔ فرد متخصص تخمین زده شده بود، مورد ارزیابی قرار دادیم. ارزیابی به این صورت است که متغیرهای ورودی وارد سامانهٔ استنتاج فازی شده و نتیجه‌ای که سامانه به دست می‌دهد با نتیجه‌ای که از قبل مشخص شده، مقایسه می‌شود. بر همین اساس ۴۸ درصد از نتایجی که سامانه به دست آورده بود، با نتایجی که پیش از این داشتیم، همخوانی داشت. در واقع می‌توانیم بگوییم این سامانه برای ۵۰ داده آزمایشی، دقتی معادل ۴۸ درصد داشت. دقت پایین دلایل گوناگونی دارد که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر هستند:

سامانه مستقیماً بر اساس استانداردهای تعریف‌شده طراحی شد و درجهٔ اهمیت تمام ویژگی‌ها به صورت یکسان در سامانه وارد شد. این در حالی است که بسته به شرایطی مانند نژاد، هر کدام از شاخص‌ها می‌توانند درجهٔ اهمیت متفاوتی داشته باشند.

اگرچه تعداد زیادی قاعده تعریف شد، اما این قواعد جامعیت و مانعیت لازم برای بالاتربردن دقت سامانه را ندارد. یکی از دلایل آن نیز این است که قواعد به صورت ترکیبی نیستند و هر کدام از آن‌ها یک ویژگی را پوشش می‌دهند.

برای بهبود دقت سامانه پیشنهاد می‌شود تا قواعد مورد نیاز با توجه به استاندارد بوکسترا، اما بر اساس نمونه‌های تجربی، تعریف شوند. این کار باعث ایجاد قواعد پیچیده‌تری می‌شود که در آن‌ها درجهٔ اهمیت ویژگی‌های مختلف لحاظ شده است.

۶. طراحی سامانهٔ استنتاج فازی بر اساس ۱۲۸ دادهٔ استخوانی افراد ایرانی

در این بخش، سامانهٔ دیگری بر اساس مجموعه‌ای از داده‌ها طراحی می‌شود. داده‌های موردمطالعه برگرفته از تعداد ۱۲۸ فرد (و یا بخشی از اسکلت افراد) حاصل از تفحص هستند که در مؤسسهٔ ژنتیک انسانی نور مطالعه و ثبت شده‌اند. این بقایا در آغاز با استفاده از روش ریخت‌شناسی بر اساس استاندارد بوکسترا–اُبلاکر تخمین جنس شده‌اند. تخمین جنس به صورت کیفی بوده است. به این صورت که فرد متخصص بر اساس دانش و تخصص خود، استخوان‌های معیار از هر اسکلت را با استناد به استاندارد بوکسترا–اُبلاکر به صورت کیفی، از ۱ تا ۵ نمره‌دهی می‌کند. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، در روش بوکسترا–اُبلاکر، با استفاده از فرم و شکل بخش‌های خاصی از اسکلت و مقایسهٔ فرم آن‌ها با فرم و شکل‌هایی که پیش از این، جنس آن‌ها برای ما مشخص است، به تخمین جنس می‌پردازند. در این مطالعه ۱به معنی زن ، ۲ به معنی احتمالاً زن، ۳ به معنی خنثی، ۴ به معنی احتمالاً مرد و ۵ به معنی مرد است. سپس جنس هر فرد را با مجموعه‌ای از این معیارها، تخمین می‌زنند. مسئولیت تخمین جنس این بقایا بر عهدهٔ مریم رمضانی بوده است. در جدول ۲ توزیع فراوانی تخمین جنس‌های صورت‌گرفته از مجموعهٔ موردمطالعه آورده شده است.

جدول ۲. توزیع فراوانی تخمین جنس در مجموعهٔ موردمطالعه

Table 2. Frequency distribution of sex estimation in the case study set

جنس	تعداد
1	0
2	3
3	16
4	40
5	69

در این مطالعه تخمین جنس بر اساس ۷ ناحیه از جمجمه و ۴ ناحیه از لگن است. این نواحی شامل موارد زیر هستند:

الف) نواحی مربوط به جمجمه:

ستیغ نوکال (Nuchal Crest)؛

زائدهٔ پستانی (Mastoid Process)؛

حاشیهٔ بالای حدقهٔ چشم (Supraorbital Margin)؛

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

برجستگی مابین دو ابرو (Prominence of Glabella)؛
برجستگی چانه‌ای (Mandible: Mental Eminence)؛
گنیون (Gnion)؛
زاویهٔ استخوان فک (Flexion of Ramus).
ب) نواحی مربوط به لگن:
استخوان شرمگاهی (Pubis)؛
سوراخ ابتوراتور (Obturator Foramen)؛
بریدگی سیاتیک بزرگ (Greater Sciatic Notch)؛
استخوان خاجی (Sacrum).

هر کدام از این نواحی، بر اساس ریخت‌شناسی در پنج سطح نمره‌دهی می‌شود. ۱ به معنی زن ، ۲ به معنی احتمالاً زن، ۳ به معنی خنثی، ۴ به معنی احتمالاً مرد و ۵ به معنی مرد است. هر ناحیه به وسیلهٔ کارشناس متخصص بر پایهٔ استاندارد بوکسترا–اُبلاکر نمره‌دهی شده و در پایان با استفاده از برآیند نتایج هر کدام از نواحی استخوانی، جنس جمجمه را تخمین می‌زنند.

هدف این بخش از پژوهش این است که بر اساس تخمین جنس صورت‌گرفته بر روی این ۱۲۸ مجموعه دادهٔ استخوانی، یک سامانهٔ استنتاج فازی طراحی شود. بر خلاف مطالعهٔ قبلی، که فقط قواعد به صورت خام در دسترس پژوهشگران بود، در این مطالعه بر اساس داده‌های تجربی جمعیت ایرانی، قواعد به صورت ترکیبی به دست می‌آیند و سامانه طراحی می‌شود.

برای طراحی سامانهٔ استنتاج فازی همان مراحلی که در بخش‌های ۴ و ۵ گفته شد به شرح زیر انجام می‌شوند.

٦–١. آماده‌سازی داده‌ها

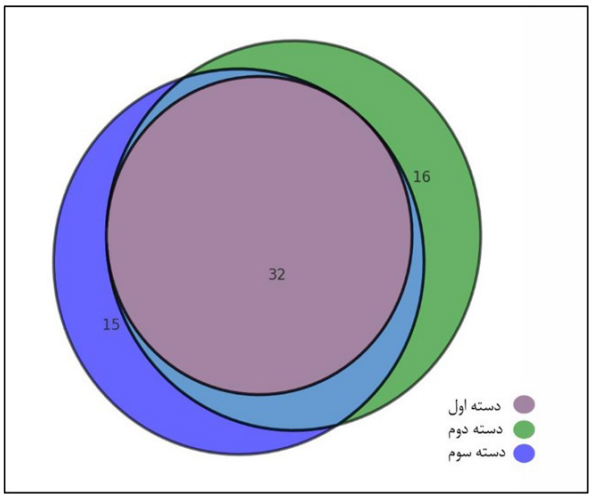
همان‌طور که پیش از این گفته شد، مجموعهٔ داده‌ها شامل ۱۲۸ اسکلت انسانی است که برای هر کدام ۷ ناحیه از جمجمه و ۴ ناحیه از لگن تخمین جنس شده و جنس نهایی بر اساس این نواحی مشخص شده است. همهٔ این اسکلت‌ها کامل نبوده‌اند و بسیاری از آن‌ها همهٔ ۱۱ ناحیهٔ موردنظر را نداشته‌اند. از میان ۱۲۸ اسکلت، ۳۲ همه شاخص‌ها را دارند. همچنین از میان داده‌ها، جمجمه ۴۸ اسکلت و لگن ۵۶ اسکلت موجود است. یکی از بخش‌های مهم آماده‌سازی داده‌ها، پاکسازی آن‌هاست. در این مجموعه داده، مقادیر گمشده قابل توجه هستند. سه راهکار برای رویارویی با این مسئله و پاکسازی داده‌ها در نظر گرفته شده است:

می‌توان مقادیر گمشده را با میانگین هر ستون (که در این‌جا ۳ است) جایگزین کرد؛

می‌توان مقادیر گمشده را با مقدار میانهٔ هر ستون جایگزین کرد (که برای مجموعه‌داده‌های موردنظر، مقدار میانه برابر با مقدار میانگین و عدد ۳ است)؛

می‌توان اسکلت‌هایی را که مقدار یا مقادیر گمشده دارند حذف کرد.

هر کدام از این رویکردها با مشکلاتی همراه هستند. برای مثال، در مورد یک و دو، اگر مقادیر گمشده با مقدار میانگین (و یا میانه) جایگزین شوند، به دلیل تعداد زیاد مقادیر گمشده و همچنین ماهیت ترتیبی مجموعه‌داده‌ها (که از ۱ به معنای زن بودن تا ۵ به معنای مرد بودن نمره‌دهی شده‌اند)، این جای‌گذاری باعث ایجاد اُریبی در داده‌ها خواهد شد. از طرفی اگر همهٔ اسکلت‌هایی که مقادیر گمشده دارند حذف شوند، تعداد کمی داده باقی می‌ماند. به همین دلیل روش دیگری پیشنهاد می‌شود. روش کار به این صورت است که داده‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند. دستهٔ اول شامل اسکلت‌هایی است که همهٔ متغیرهای آن‌ها کامل بوده و در مجموع ۳۲ داده را در بر می‌گیرد. دستهٔ دوم اسکلت‌هایی را شامل می‌شود که متغیرهای ستیغ نوکال ، زائدهٔ پستانی، حاشیهٔ بالای حدقهٔ چشم، برجستگی مابین دو ابرو ، برجستگی چانه‌ای و گنیون در آن‌ها کامل هستند و در مجموع ۴۸ داده را در بر می‌گیرد. دستهٔ سوم اسکلت‌هایی هستند که متغیرهای زاویهٔ استخوان فک، استخوان شرمگاهی، سوراخ ابتوراتور، بریدگی سیاتیک بزرگ و استخوان خاجی در آن‌ها کامل است که شامل ۴۷ داده است. این تقسیم‌بندی بر اساس امکانات داده‌های موجود، آزمون و خطا و تجربهٔ پژوهشگر صورت گرفته است تا قواعدی با بیش‌ترین دقت استخراج شود. تعدادی از داده‌ها در میان دسته‌ها همپوشانی دارند. در شکل ۱۴ فراوانی هر دسته مشخص شده است.



شکل ١٤. نمودار وِن هر دسته

Figure 14. Venn Diagram of each category

همان‌طور که از نمودار مشخص است، دستهٔ اول با دسته‌های دوم و سوم هم‌پوشانی دارد. با توجه به این نکته، ما در مجموع ۶۳ داده از میان ۱۲۸ داده را جدا کرده و سامانه را بر اساس این ۶۳ داده طراحی خواهیم کرد. در ادامه بر اساس این سه دسته، سه گروه قاعدهٔ اگر–آن‌گاه استخراج می‌شود.

٦–٢. استخراج قواعد از داده

در این پژوهش برای استخراج قواعد از مدل درخت تصمیم استفاده می‌شود. همچنین برای پیاده‌سازی این مدل از زبان برنامه‌نویسی پایتون استفاده شده

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

است. همان‌طور که پیش از این گفته شد، داده‌ها برای پاکسازی به سه گروه تقسیم شدند. بررسی نتایج آموزش مدل درخت تصمیم در سه دستهٔ مختلف نشان‌دهندهٔ توانایی قابل‌قبول این مدل در تخمین جنس بر اساس ویژگی‌های اسکلتی است. نتایج خام درخت تصمیم به‌دست‌آمده از کدنویسی پایتون در ادامه آورده شده‌اند:

نتایج برای داده‌های کامل:

```
|--- Prominence of glabella <= 3.50
|    |--- Flexion of ramus <= 2.50
|    |    |--- class: 2
|    |--- Flexion of ramus >  2.50
|    |    |--- class: 4
|--- Prominence of glabella >  3.50
|    |--- sacrum <= 3.50
|    |    |--- Flexion of ramus <= 4.50
|    |    |    |--- class: 4
|    |    |--- Flexion of ramus >  4.50
|    |    |    |--- class: 5
|    |--- sacrum >  3.50
|    |    |--- class: 5
```

Accuracy for Complete Data: 85.71%

در این دسته، قواعدی به دست آمدند که ویژگی‌های برجستگی مابین دو ابرو و زاویهٔ استخوان فک بیش‌ترین نقش را در آن‌ها داشتند. دقت این قواعد بر اساس داده‌های موردمطالعه ۸۵/۷۱٪ ارزیابی شد. این عدد بدین معنا است که در ۸۵/۷۱ درصد از داده‌هایی که امکان به‌کارگیری این قواعد در آن‌ها وجود داشت، جنس پیش‌بینی شده با جنس واقعی (از پیش مشخص شده) یکسان بوده است.

نتایج برای داده‌های مربوط به دستهٔ دو:

```
|--- Mandibl: mental Eminence <= 4.50
|    |--- Mastoid process <= 2.50
|    |    |--- class: 2.0
|    |--- Mastoid process >  2.50
|    |    |--- Prominence of glabella
 <= 4.50
|    |    |    |--- Mandibl: mental Eminence <= 3.50
|    |    |    |    |--- Supraorbial margin <= 2.50
|    |    |    |    |    |--- class: 4.0
|    |    |    |    |--- Supraorbial margin >  2.50
|    |    |    |    |    |--- class: 3.0
|    |    |    |--- Mandibl: mental Eminence >  3.50
|    |    |    |    |--- Nuchal crest <= 4.50
|    |    |    |    |    |--- Mastoid process <= 3.50
|    |    |    |    |    |    |--- class: 4.0
|    |    |    |    |    |--- Mastoid process >  3.50
|    |    |    |    |    |    |--- class: 4.0
|    |    |    |    |--- Nuchal crest >  4.50
|    |    |    |    |    |--- class: 3.0
|    |    |--- Prominence of glabella >  4.50
|    |    |    |--- class: 4.0
|--- Mandibl: mental Eminence >  4.50
|    |--- class: 5.0
```

Accuracy for Data: 90.00%

در این دسته، قواعد درخت تصمیم با دقت ۹۰٪ توانسته‌اند جنس را تخمین بزنند. قواعد استخراج‌شده در این دسته تأکید زیادی بر برجستگی چانه‌ای و زائدهٔ پستانی دارند. تخمین جنس در این دسته توسط ویژگی‌های مورداستفاده امکان‌پذیر شده و نشان‌دهندهٔ نقش و تأثیر آن‌ها در تشخیص جنس است. دقت این قواعد بر اساس داده‌های موردمطالعه ۹۰٪ ارزیابی شد. این عدد به این معنی است که پیش‌بینی جنس ۹۰ درصد از داده‌هایی که قابلیت استفاده از این قواعد در آن‌ها بود با جنس از پیش مشخص‌شده یکسان بوده است.

نتایج برای داده‌های مربوط به دستهٔ سه:

```
|--- Flexion of ramus <= 3.50
|    |--- Pubis <= 3.00
|    |    |--- class: 2
|    |--- Pubis >  3.00
|    |    |--- Obturator foramen <= 4.50
|    |    |    |--- class: 4
|    |    |--- Obturator foramen >  4.50
|    |    |    |--- class: 4
|--- Flexion of ramus >  3.50
|    |--- sacrum <= 3.50
|    |    |--- Flexion of ramus <= 4.50
|    |    |    |--- class: 4
|    |    |--- Flexion of ramus >  4.50
```

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

| | | |--- class: 5
| |--- sacrum > 3.50
| | |--- Pubis <= 4.50
| | | |--- Flexion of ramus <= 4.50
| | | | |--- class: 5
| | | |--- Flexion of ramus > 4.50
| | | | |--- class: 5
| | |--- Pubis > 4.50
| | | |--- class: 5

Accuracy for Data: 90.00%

در این دسته ویژگی‌های زاویهٔ استخوان فک و استخوان شرمگاهی بیش‌ترین نقش را دارد. قواعد نشان می‌دهد که با افزایش مقادیر ویژگی‌های زاویهٔ استخوان فک و استخوان خاجی، امکان تخمین جنس به سمت مردشدن (طبقهٔ ۵) می‌رود. دقت این قواعد بر اساس داده‌های موردمطالعه ۹۰٪ ارزیابی شد. این عدد به این معنی است که پیش‌بینی جنس ۹۰ درصد از داده‌هایی که قابلیت استفاده از این قواعد در آن‌ها بود همانند جنس از پیش تعیین‌شده بود.

۶-۳. گزینش قواعد

برای طراحی سامانهٔ استنتاج فازی باید مناسب‌ترین و مؤثرترین قواعد را انتخاب کنیم. در مطالعهٔ صورت‌گرفته، پس از بررسی همهٔ قواعد استخراج‌شده در بخش پیشین، تعداد ۱۷ قاعده انتخاب می‌شوند که در جدول ۳ آمده‌اند. همچنین برای بهبود عملکرد سامانه چهار قاعده بر اساس تجربهٔ نویسندگان اضافه شدند (جدول ۴).

جدول۳. قواعد گزینش‌شده

Table 3. Constructed rules

Row	Principle
1	If Prominence_of_glabella is 3 and flexion_of_ramus is 2, then the sex is possible_female
2	If Prominence_of_glabella is 3 and flexion_of_ramus is 3, then the sex is possible_male
3	If Prominence_of_glabella is 4 and sacrum is 3 and flexion_of_ramus is 4, then the sex is possible_male
4	If Prominence_of_glabella 4 and sacrum is 3 and flexion_of_ramus is 5, then the sex is high_possible_male
5	If Prominence_of_glabella is 4 and sacrum is 4, then the sex is high_possible_male
6	If mandibl is 4 and mastoid_process is 2, then the is sex is possible_female
7	If mastoid_process is 3 and Prominence_of_glabella is 4 and mandible is 3 and supraorbial_margin is 2, then the is sex possible_male
8	If mastoid_process is 3 and Prominence_of_glabella is 4 and mandible is 3 and supraorbial_margin is 3, then the sex is neutral
9	If mastoid_process is 3 and Prominence_of_glabella is 4 and mandible is 4 and nuchal_crest 4,then the sex is possible_male
10	If mastoid_process is 3 and Prominence_of_glabella is 4 and mandible is 4 and nuchal_crest is 5, then the sex is neutral
11	If mandible is 4 and mastoid_process is 3 and Prominence_of_glabella is 5, then the sex is possible_male
12	If mandible is 5, then the sex is high_possible_male
13	If flexion_of_ramus is 3 and pubis is 2, then the sex is possible_female
14	If flexion_of_ramus is 3 and pubis is 4, then the sex is possible_male
15	If flexion_of_ramus is 4 and sacrum is 3, then the sex is possible_male
16	If sacrum is 3 and flexion_of_ramus is 5, then the sex is high_possible_male
17	If flexion_of_ramus is 4 and sacrum is 4, then the sex is high_possible_male

جدول٤. قواعد اضافه‌شده

Table 4. Added rules

Row	Principle
1	If nuchal_crest is 2 and mastoid_process is 2 and supraorbial_margin is 2 and Prominence_of_glabella is 2 and mandible is 2 and flexion_of_ramus is 2 and pubis is 2 and sacrum is 2, then the is sex possible_female
2	If nuchal_crest is 4 and mastoid_process is 4 and supraorbial_margin is 4 and Prominence_of_glabella is 4 and mandible is 4 and flexion_of_ramus is 4 and pubis is 5 and sacrum is 5, then the sex is high_possible_male
3	If nuchal_crest is 5 and mastoid_process is 4 and supraorbial_margin is 4 and Prominence_of_glabella is 4 and mandible is 4 and flexion_of_ramus is 4 and pubis is 5 and sacrum is 5, then the sex is high_possible_male
4	If nuchal_crest is 5 and mastoid_process is 5 and supraorbial_margin is 5 and Prominence_of_glabella is 5 and mandible is 4 and flexion_of_ramus is 4 and pubis is 5 and sacrum is 5, then the sex is high_possible_male

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

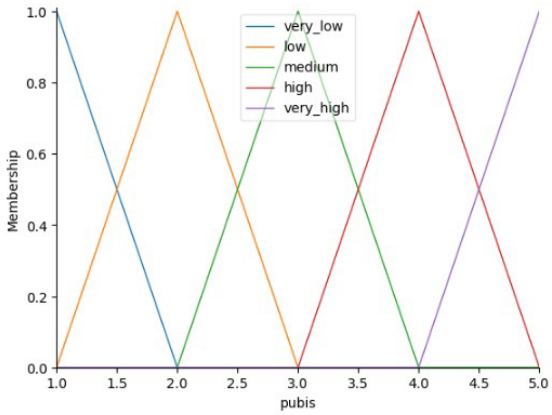
٦-٤. آماده‌سازی پایگاه قواعد

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، در این مرحله متغیرهای ورودی و خروجی و توابع عضویت مربوط به هر کدام تعریف می‌شود. متغیرهای ورودی بر اساس قواعدی که در بخش پیشین مشخص شد، به صورت زیر تعریف شدند:

متغیرهای ورودی: ستیغ نوکال (Nuchal Crest)، زائدهٔ پستانی (Mastoid Process)، حاشیهٔ بالای حدقهٔ چشم (Supraorbital Margin)، برجستگی مابین دو ابرو (Prominence of Glabella)، زاویهٔ استخوان فک (Flexion of Ramus)، استخوان خاجی (Sacrum)، برجستگی چانه‌ای (Mandible: Mental Eminence)، استخوان شرمگاهی (Pubis)؛

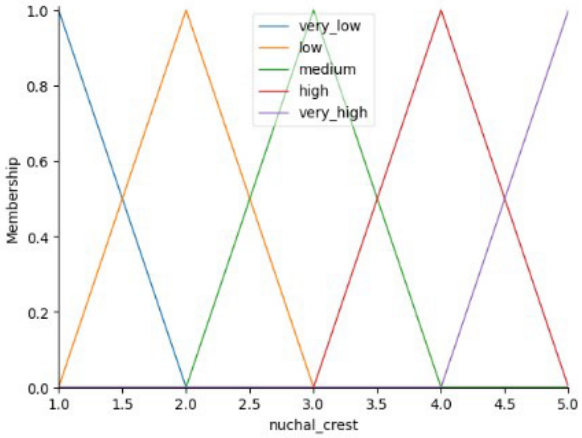
متغیر خروجی: جنس (Sex).

در این قسمت مانند بخش ۵، برای هر کدام از متغیرهای ورودی و خروجی یک تابع عضویت مثلثی فازی تعریف می‌شود. برای هر کدام از متغیرهای ورودی، ۵ تابع عضویت برای خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تعریف می‌شود (شکل‌های ۱۵ تا ۲۲). برای متغیر خروجی جنس هم ۵ تابع عضویت شامل با امکان زیاد زن، امکان زن بودن، خنثی، امکان مردبودن و با امکان زیاد مرد تعریف می‌شود (شکل ۲۳).



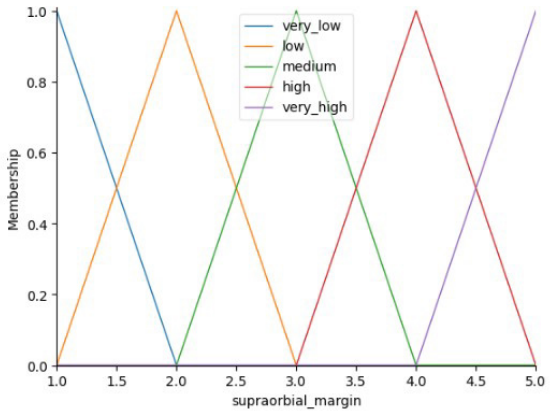
شکل ۱۵. نمودار تابع عضویت استخوان شرمگاهی (Pubis)

Figure 15. Membership function diagram for Pubis



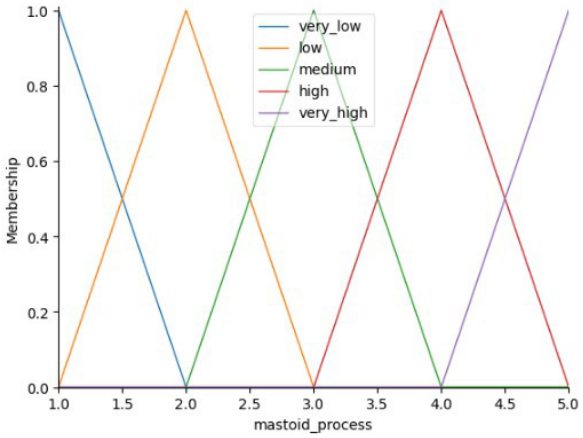
شکل ۱٦. نمودار تابع عضویت ستیغ نوکال (Nuchal Crest)

Figure 16. Membership function diagram for Nuchal Crest



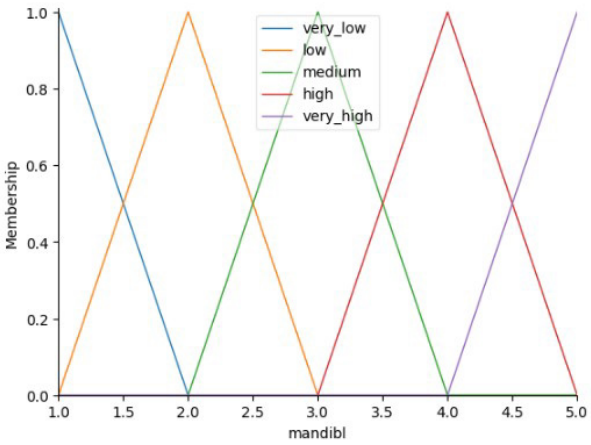
شکل ۱۷. نمودار تابع عضویت حاشیه بالای حدقه چشم (Supraorbital Margin)

Figure 17. Membership function diagram for Supraorbital Margin



شکل ۱۸. نمودار تابع عضویت زائده پستانی (Mastoid Process)

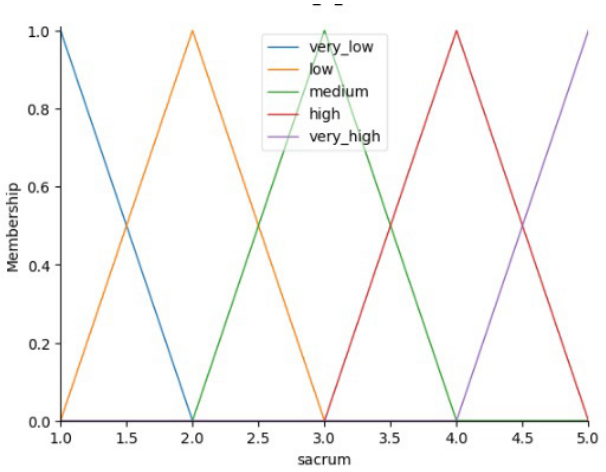
Figure 18. Membership function diagram for Mastoid Process



شکل ۱۹. نمودار تابع عضویت برجستگی چانه‌ای (Mandible: Mental Eminence)

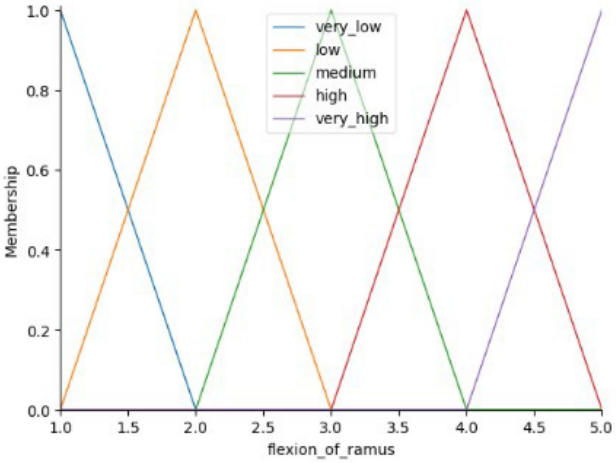
Figure 19. Membership function diagram for Mandible: Mental Eminence

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026



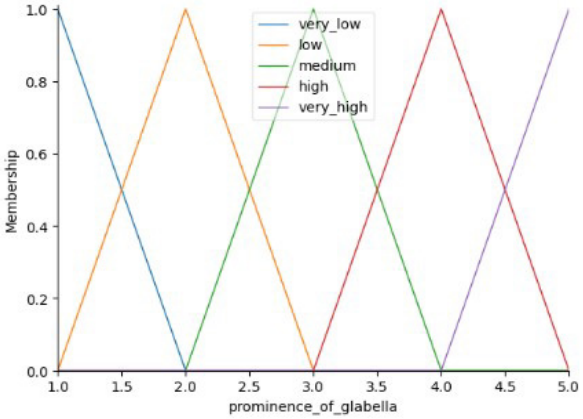
شکل ۲۰. نمودار تابع عضویت استخوان خاجی (Sacrum)

Figure 20. Membership function diagram for Sacrum



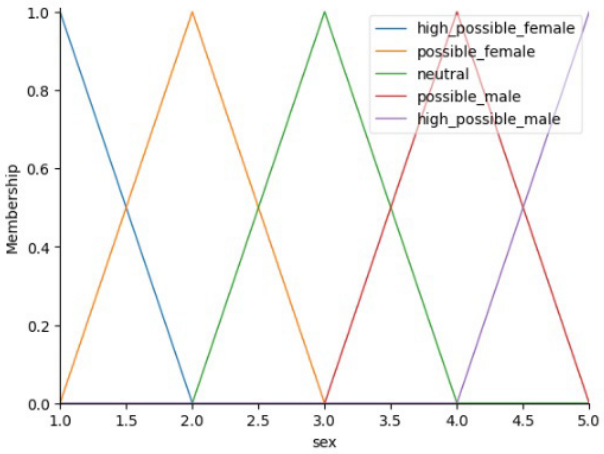
شکل ۲۱. نمودار تابع عضویت زاویه استخوان فک (Flexion of Ramus)

Figure 21. Membership function diagram for Flexion of Ramus



شکل ۲۲. نمودار تابع عضویت برجستگی مابین دو ابرو (Prominence of Glabella)

Figure 22. Membership function diagram for Prominence of Glabella



شکل ۲۳. نمودار تابع عضویت جنس (Sex)

Figure 23. Membership function diagram for Sex

اکنون همانند سامانهٔ طراحی‌شده در بخش پیشین، نمودار متغیرهای ورودی و نیز نمودار متغیر خروجی در ادامه توضیح داده می‌شود.

٦-٤-١. متغیر ورودی

شکل ۱۵ که تابع عضویت استخوان شرمگاهی است را در نظر بگیرید. در این نمودار، مقادیر متغیر ورودی در بازهٔ ۱ تا ۵ قرار گرفته و به پنج مجموعهٔ فازی مجزا تقسیم شده‌اند. هر مجموعه با یک تابع عضویت مثلثی تعریف شده است که میزان تعلق هر مقدار به یک دستهٔ خاص را تعیین می‌کند.

در این تابع عضویت:

محور افقی نشان‌دهندهٔ مقادیر متغیر استخوان شرمگاهی در دامنهٔ ۱ تا ۵ متغیر است؛

محور عمودی درجهٔ عضویت (Membership Degree) را در بازهٔ ۰ تا ۱ نشان می‌دهد، که مقدار ۱ به معنی تعلق کامل، مقدار صفر به معنی عدم تعلق و مقادیر بین صفر و یک به معنی درجه‌ای از تعلق به یک مجموعهٔ فازی است؛

پنج مجموعه فازی در این مدل تعریف شده‌اند:

خیلی کم با مقدار ۱؛

کم با مقدار ۲؛

متوسط با مقدار ۳؛

زیاد با مقدار ۴؛

خیلی زیاد با مقدار ۵.

در این بخش هم توابع عضویت مثلثی به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که هم‌پوشانی بین مجموعه‌ها حفظ شود تا یک مقدار مشخص (مثلاً ۴/۵) بتواند به‌طور همزمان در دو مجموعهٔ فازی عضویت داشته باشد (مثلاً بخشی در مجموعهٔ زیاد و بخشی در مجموعهٔ خیلی زیاد). این خاصیت باعث می‌شود سامانه‌های استنتاج فازی عدم قطعیت موجود در داده‌های ریخت‌شناسی را مدل‌سازی کنند.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

از آن‌جا که متغیر خروجی این بخش مانند بخش پیشین است؛ برای توضیحات بیش‌تر دربارهٔ متغیر خروجی و شکل ۲۳ به بخش ۵-۳-۲ مراجعه نمایید.

٦-٥. اجرای سامانهٔ استنتاج فازی و پیاده‌سازی نهایی

همچون سامانهٔ پیشین، در این بخش هم از سامانهٔ استنتاج فازی ممدانی استفاده می‌شود. برای طراحی این سامانه از زبان برنامه‌نویسی پایتون استفاده شد. در سامانهٔ طراحی‌شدهٔ قواعد تعریف‌شده برای استلزام از روش کمینه (Min) و برای تجمیع خروجی‌ها از روش بیشینه (Max) استفاده می‌شود، که به ترتیب میزان تأثیر ورودی‌ها را در خروجی محدود و ترکیب می‌کنند. همچنین غیرفازی‌سازی از طریق روش مرکز ثقل انجام می‌گیرد.

٦-٦. نمونه‌ای از استفاده از سامانهٔ طراحی‌شده

مانند سامانهٔ طراحی‌شده پیشین، فرض کنید یک نمونه داریم که شاخص‌های استخوانی آن به شکل زیر نمره‌دهی شده‌اند:

ستیغ نوکال (Nuchal Crest)= ۳؛

زائدهٔ پستانی (Mastoid Process)= ۳؛

حاشیهٔ بالای حدقهٔ چشم (Supraorbital Margin)= ۳؛

برجستگی مابین دو ابرو (Prominence of Glabella)= ۵؛

زاویهٔ استخوان فک (Flexion of Ramus)= ۵؛

استخوان خاجی (Sacrum)= ۳؛

برجستگی چانه‌ای (Mandible: Mental Eminence)= ۳؛

استخوان شرمگاهی (Pubis)= ۵.

حال برای تخمین جنس این نمونه، ورودی‌ها وارد سامانه می‌شوند و سامانه پس از تجزیه و تحلیل نتیجهٔ زیر را به ما می‌دهد:

high_possible_female: 0.00

possible_female: 0.00

neutral: 0.00

possible_male: 0.33

high_possible_male: 0.67

Highest Membership: high_possible_male (0.67)

سامانه درجهٔ عضویت متناظر با هرکدام از خروجی‌ها را حساب می‌کند و در نهایت خروجی با بیش‌ترین درجهٔ عضویت را به‌عنوان خروجی نهایی مشخص می‌کند. در این نمونه درجهٔ عضویت‌ها به شرح زیر هستند:

با امکان زیاد زن= ۰؛

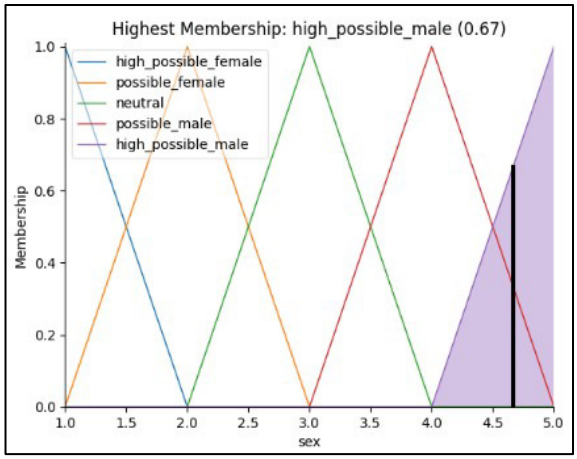
امکان زن‌بودن= ۰؛

خنثی= ۰؛

امکان مردبودن= ۰/۳۳؛

با امکان زیاد مرد= ۰/۶۷.

بیش‌ترین درجهٔ عضویت مربوط به «با امکان زیاد مرد» است که به‌عنوان خروجی نهایی مشخص می‌شود. نمودار متناظر با این نمونه در ادامه آورده شده است (شکل ۲۴).



شکل ۲٤. نمودار خروجی نمونه فرضی

Figure 24. Sample output diagram

٦-٧. نتایج و ارزیابی

برای ارزیابی سامانه، ۱۹ داده از مجموعهٔ ۱۲۸ داده انتخاب شد که جزء ۶۳ دادهٔ مورداستفاده در طراحی سامانه نبودند. این ۱۹ داده به‌عنوان دادهٔ آزمایشی وارد سامانه شدند. دلیل انتخاب این تعداد آن بود که بسیاری از داده‌ها ناقص بودند و ویژگی‌های موردنیاز سامانه را نداشتند. بنابراین، امکان استفاده از همهٔ ۶۵ داده که نقشی در طراحی سامانه نداشتند به‌عنوان دادهٔ آزمایشی نبود. این داده‌ها شامل ویژگی‌های استخوانی مشخص به‌عنوان متغیرهای ورودی و جنسی هستند که ابتدا توسط فرد متخصص تخمین زده شده و سپس با آزمایش دی‌ان‌ای تأیید شده است (به‌عنوان متغیر خروجی). مجموعهٔ داده را به‌عنوان متغیر ورودی وارد سامانه کردیم تا مشخص شود چند درصد از نتایجی که سامانه تخمین جنس می‌کند با تخمین جنسی که به وسیلهٔ فرد متخصص و آزمایش انجام شده است، تطابق دارد. در نهایت مشخص شد سامانه در ۸۳ درصد از موارد همچون فرد متخصص پیش‌بینی کرده است. این نتیجه بیانگر بهبود دقت سامانه در تشخیص و استنتاج نسبت به سامانهٔ پیشین است، اما تا مقدار ایدئال هنوز فاصله است. با افزایش تعداد و تنوع جنسی داده‌ها، می‌توان قواعد دقیق‌تری استخراج کرد و دقت سامانهٔ نهایی را ارتقاء بخشید.

۷. بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مقاله طراحی دو سامانهٔ استنتاج فازی برای تخمین جنس یافته‌های استخوانی انسان به‌منظور جلب توجه پژوهشگران باستان‌شناسی و انسان‌شناسی به منطق و ریاضیات فازی است. نگارندگان با توجه به رویکرد منطق فازی در مواجهه با عدم قطعیت که ناشی از ابهام و یا کمبود و یا نادقیق‌بودن اطلاعات است (بر خلاف احتمال که عدم قطعیت آن ناشی از شانس و فراوانی است) معتقدند در مطالعات انسان‌شناسی و باستان‌شناسی این شرایط (عدم قطعیت از جنس ابهام و یا ناقص‌بودن اطلاعات) در

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

بسیاری از موارد برقرار است. بنابراین، می‌توان از منطق و ریاضیات فازی که به تفکر انسانی نزدیک‌تر است، استفاده کرد. پس از بررسی پیشینهٔ پژوهش در بخش ۲ و معرفی روش‌های بررسی جنس در بخش ۳، به توضیح سامانه‌های استنتاج فازی در بخش ۴ پرداخته شد. در این بخش پس از معرفی کلی سامانه‌های استنتاج فازی، سامانهٔ ممدانی معرفی شده و توضیح داده شد که این سامانه از مرحله‌های اصلی فازی‌سازی (Fuzzification) ورودی‌ها، انتخاب عملگر (Operation) فازی، انتخاب استلزام (Implication) فازی، انتخاب تجمیع (Aggregation) فازی و غیرفازی سازی (Defuzzification) تشکیل شده است. سپس برای طراحی سامانهٔ استنتاج فازی برای تخمین جنس یافته‌های استخوانی انسانی ۵ مرحله شامل آماده‌سازی داده‌ها، استخراج قواعد از داده‌ها، گزینش قواعد، آماده‌سازی پایگاه قواعد، اجرای سامانهٔ استنتاج فازی و پیاده‌سازی نهایی تعریف شد. در بخش ۵ یک سامانهٔ استنتاج فازی بر اساس استاندارد بوکسترا–اُبلاکر طراحی شد. طراحی بر اساس مراحلی که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، انجام گرفت. برای آزمایش دقت سامانه، تعداد ۵۰ اسکلت که جنس آن به وسیلهٔ فرد متخصص تخمین زده شده بود، وارد سامانه شد و نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفت. سامانه برای ۴۸ درصد از داده‌ها مانند فرد متخصص و آزمایش دی‌ان‌ای تخمین جنس کرد. از دلایلی که دقت سامانه کمتر از حد انتظار بود، یکی آن است که سامانه مستقیماً بر اساس استانداردهای تعریف شده، طراحی شد و درجهٔ اهمیت تمام ویژگی‌ها به صورت یکسان در سامانه وارد شد. در صورتی که بسته به شرایطی مانند نژاد، جغرافیا و غیره، هر کدام از شاخص‌ها می‌توانند درجهٔ اهمیت و وزن متفاوتی داشته باشند. دوم آن‌که قواعد تعریف‌شده جامعیت و مانعیت لازم برای بالاتربردن دقت سامانه را نداشتند. این امر می‌تواند به علت‌هایی مانند ترکیبی و پیچیده‌نبودن قواعد باشد. همچنین پیشنهاد شد برای بهبود دقت سامانه، قواعد بر اساس نمونه‌های تجربی تعریف شوند. این کار باعث می‌شود قواعد پیچیده‌تری که در آن‌ها درجهٔ اهمیت ویژگی‌های مختلف لحاظ شده و بر اساس نژادهای گوناگون باشند، تعریف شوند. در بخش بعدی یعنی بخش ۶ یک سامانهٔ استنتاج فازی بر اساس استخوان‌های ۱۲۸ فرد ایرانی طراحی شد. در این بخش از داده‌های تجربی برای طراحی استفاده شده است تا قواعد دقیق‌تر و پیچیده‌تری به دست آید. مانند بخش قبلی، طراحی این سامانه هم بر اساس مراحل گفته شده در بخش ۴ بود. پس از پاکسازی داده‌ها، تعداد ۶۳ داده باقی ماند که قواعد فازی بر اساس آن‌ها تعریف شد. برای ارزیابی دقت سامانه، تعداد ۱۹ دادهٔ دیگر (که جزء آن ۶۳ دادهٔ اولیه نبودند) به‌عنوان دادهٔ آزمایشی وارد سامانه شدند و نتایج آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سامانه توانست در ۸۳ درصد از داده‌ها جنس را همانند نظر فرد متخصص تخمین بزند. اگرچه دقت این سامانه نسبت به سامانهٔ پیشین پیشرفت داشته است، اما هنوز با دقت مورد انتظار و ایدئال فاصله دارد. برای بهبود دقت سامانه نیاز است مجموعهٔ داده با حجم و توازن جنسی بیش‌تر در اختیار پژوهشگر قرار گیرد تا با استفاده از آن قواعد بهینه‌تری برای سامانهٔ استنتاج فازی استخراج کند.

از مهم‌ترین محدودیت‌های این پژوهش در دسترس‌نبودن مجموعه‌داده‌ای بزرگ، متوازن از نظر جنس، و دارای جزئیات کافی از استخوان‌های مورد نیاز بوده است. پیشنهاد می‌شود برای پژوهش‌های آتی، این سامانه با استفاده از تعداد داده‌های بیش‌تر و همچنین متنوع طراحی شود. همچنین می‌توان پژوهشی با تمرکز بیشتر بر تجزیه و تحلیل تطبیقی بین روش‌های غیرفازی و سامانه‌های فازی انجام شود تا درک بهتری از مزایا و محدودیت‌های هر روش به دست آید. علاوه بر این، مطالعهٔ بیشتر در خصوص مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری سامانه‌های فازی در مواجهه با داده‌های بزرگ و متنوع توصیه می‌شود تا اطمینان حاصل شود که این سامانه‌ها می‌توانند در شرایط واقعی با دقت بالا عمل کنند.

استفاده از روش‌های فازی نسبت به روش‌های دیگر در باستان‌شناسی و انسان‌شناسی در آغاز راه است و به طبع از دقت کم‌تری برخوردار است، اما با توجه به ویژگی‌های منطق فازی و همچنین شرایطی که در بسیاری از بخش‌های باستان‌شناسی و انسان‌شناسی برقرار است، با پژوهش‌های بیش‌تر منطق فازی می‌تواند در تحلیل‌های باستان‌شناسی و انسان‌شناسی نقش به‌سزایی داشته باشد. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان می‌دهند که با تلاش‌های بیشتر در بهینه‌سازی و تنظیم دقیق توابع و قواعد، و همچنین استفاده از شاخص‌های دیگر مانند اندازه‌گیری ابعاد استخوان، می‌توان امیدوار بود که سامانه‌های استنتاج فازی به ابزارهایی مؤثر و قابل‌اتکا در زمینه‌های باستان‌شناسی، پزشکی قانونی و مطالعات انسان‌شناسی تبدیل شوند، اما برای بهبود دقت و کارایی سامانه‌ها نیاز به مطالعات گسترده‌تر و یافته‌های و داده‌های بیش‌تری است تا بتوان این رویکرد را به‌عنوان روشی مؤثر و قابل عتماد در تعیین جنس، مورد استفاده قرار داد.

سپاسگزاری: از سردبیر محترم مجله و داوران گرامی به‌دلیل راهنمایی‌های ارزشمندشان که موجب اصلاح و بهبود این مقاله شد، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنیم. همچنین از خانم پگاه گودرزی، دانشجوی دکتری باستان‌شناسی زیستی دانشگاه سایمون فریزر، به‌خاطر راهنمایی‌های ایشان در بخش‌های انسان‌شناسی قدردانی به عمل می‌آوریم. شایان ذکر است در این پژوهش از هوش مصنوعی مولد برای طراحی نمودار، ویرایش متن و بهینه‌سازی کدها استفاده شده است. این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری نویسندهٔ اول با عنوان طراحی سامانهٔ استنتاج فازی برای تخمین جنس بقایای استخوانی انسان در رشتهٔ باستان‌شناسی دانشگاه تهران است.

مشارکت نویسندگان: نویسندهٔ اول: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، منابع، نرم‌افزار، نظارت، اعتبارسنجی، نوشتن پیش‌نویس اصلی، بررسی و ویرایش. نویسندهٔ دوم: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، نظارت، اعتبارسنجی، بررسی و ویرایش. نویسندهٔ سوم: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، تحقی بررسی، روش‌شناسی، نظارت، اعتبارسنجی، بررسی و ویرایش. نویسندهٔ چهارم: مدیریت داده‌ها، نظارت، اعتبارسنجی، بررسی و ویرایش.

تأمین مالی: این پژوهش هیچ بودجه خارجی دریافت نکرده است. هزینهٔ پردازش مقاله (APC) را محمدعلی کبیریان تأمین نمود.

تضاد منافع: نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافع را اعلام نمی‌کنند. تأمین‌کنندگان در طراحی مطالعه، در جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل یا تفسیر داده‌ها، در نوشتن مقاله یا در تصمیم‌گیری برای انتشار نتایج نقشی نداشتند.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

دسترسی به داده‌ها و مواد: مجموعه‌داده‌های تحلیل‌شده در طول پژوهش حاضر در دسترس عموم نیستند، اما از طریق درخواست منطقی از نویسندهٔ مسئول قابل دسترسی هستند.

پی‌نوشت

۱. در مطالعات مربوط به جنس اصلاحات متفاوتی شامل ارزیابی جنس (sex assessment)، تعیین جنس (sex determination) و تخمین جنس (sex estimation) به کار گرفته می‌شوند. ارزیابی جنس به‌طور سنتی با استفاده از ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بدون تحلیل آماری انجام می‌شود که منجر به نتایج ذهنی و نامطمئن می‌شود. در مقابل، تعیین جنس با دقت نزدیک به صد درصد، معمولاً از طریق تجزیه و تحلیل دی‌ان‌ای (DNA) انجام می‌گیرد که تنها روش برای دست‌یابی به این سطح اطمینان است. تخمین جنس از طریق استفاده از روش‌های اندازه‌گیری و ریخت‌شناسی از ویژگی‌های استخوانی انجام می‌شود که هدف آن ارائهٔ نرخ خطا و نرخ طبقه‌بندی موردانتظار است، که در پی رویکردی علمی با دقت قابل‌سنجش است. استفاده از واژهٔ «تعیین» خارج از تحلیل دی‌ان‌ای (DNA) به دلیل احتمال بیش از حد اعتماد به روش‌های کمتر قطعی، توصیه نمی‌شود (Klales, 2020).

۲. این بخش بیش از آن‌که ماهیت پژوهشی داشته باشد، کارکرد آموزشی دارد. با توجه به آن‌که مفهوم سامانه‌های استنتاج فازی هنوز در حوزهٔ باستان‌شناسی به‌طور گسترده شناخته نشده است، نگارندگان به‌منظور تبیین سازوکار منطقی روش به‌کاررفته در این پژوهش، توضیحاتی ارائه کرده‌اند تا درک آن برای خوانندگان غیرمتخصص نیز میسّر گردد.

References

Agarwal, P., & Nayal, H. S. (2015). Possibility theory versus probability theory in fuzzy measure theory. *Journal of Engineering Research and Applications*, 5(2), 37–43.

Alirezazadeh, M & Heydarian, M & Khosrowzadeh, A. (2020). GIS and fuzzy logic in the management of cultural resources; presenting the predictive model of chalcolithic sites in Chaharmahal and Bakhtiari. *Journal of Archaeological Studies*. 12(3), 193-216.

Buikstra, J. E., & Douglas H. Ubelaker (Eds.). (1994). Standards for data collection from human skeletal remains. (12154th ed*.). Fayetteville: Arkansas Archaeological Survey*.

Canal, E., & Cavazzoni, S. (1990). Ancient human settlements in the venice lagoon: A multivariate analysis using "fuzzy c-means clustering", *Archeologia e Calcolatori*, 1, 165-177 [in Italian].

Dubois, D., & Prade, H. (2015). Possibility theory and its applications: where do we stand? In j. Kacprzyk & w. Pedrycz (Eds.), *Springer Handbook of Computational Intelligence* (pp. 31–60). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-43505-2_3

Dubois, Didier., & Prade, H. M. (1988). *Possibility Theory: An Approach to Computerized Processing of Uncertainty*. Springer US.

Figuera, M. (2021). A fuzzy approach to evaluate the attributions reliability in the archaeological sources. *International Journal on Digital Libraries*, 22(3). https://doi.org/10.1007/s00799-020-00284-6

Gaines, B. R., & Kohout, L. (1975). Possible automata. *International Symposium on Multiple-Valued Logic*, 183–196.

Hermon, S., & Niccolucci, F. (2017). Formally defining the time-space-archaeological culture relation: Problems and prospects. *Archeologia e Calcolatori*, 28.

Hermon, S., Niccolucci, F., Alhaique, F., Iovino, M.-R., & Leonini, V. (2004). Archaeological typologies-an archaeological fuzzy reality. *BAR International Series*, 1227, 30–34.

Kabirian, M. (2018). *Application of Fuzzy Logic in Archaeology* (A Case Study of Jafar Abad and Tu-Ali Kurgans), Master's Thesis, Art University of Isfahan, Iran [in Persian].

Kafetzaki, D., Poblome, J., & Aerts, J. (2023). Fuzzy typological (re)arrangement: a prototype of rethinking the typology of roman tablewares from sagalassos, southwest Anatolia. *Journal of Archaeological Method and Theory*. https://doi.org/10.1007/s10816-023-09614-9

Klales, A. R. (Ed.). (2020). Sex estimation of the human skeleton: history, methods, and emerging techniques. *In Sex Estimation of the Human Skeleton: History, Methods, and Emerging Techniques* (pp. 1–378). Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2017-0-03550-4.

Klales, A. R., Ousley, S. D., & Passalacqua, N. V. (2020). Statistical approaches to sex estimation. In A. R. Klales (Ed.), Sex Estimation of the Human Skeleton (pp. 203–217). *Academic Press, an Imprint of Elsevier*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815767-1.00013-4

The MathWorks Inc. (2024). Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems. (2024). The MathWorks Inc. https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

https://doi.org/10.1145/3480956

Murphy, K. M., Gittings, B., & Crow, J. (2018). Visibility analysis of the Roman communication network in southern Scotland. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 17, 111–124. https://doi.org/10.1016/J.JASREP.2017.10.047

Niccolucci, F., D'Andrea, A., & Crescioli, M. (2001). Archaeological applications of fuzzy databases. *BAR International Series International Series*, 931, 107–116.

Niccolucci, F., & Hermon, S. (2015). Time, chronology and classification. In J. Barceló and I. Bogdanovic (Ed.), *Mathematics and Archaeology*,

White, T. D., Black, M. T., & Folkens, P. A. (2012). *Human Osteology* (3rd ed.). Elsevier/Academic Press.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 338–353.

Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 3–28.

طاهری، م و ایروانی قدیم، ف و کبیریان، م. (۱۳۹۶). استفاده از ریاضیات فازی در باستان‌شناسی. ششمین کنگرهٔ مشترک سیستم‌های فازی و هوشمند ایران، کرمان. ۳۱۴-۳۰۷

طاهری، م و ایروانی قدیم، ف و کبیریان، م. (۱۳۹۷ الف). فازی سازی داده های باستان‌شناسی به منظور استفاده در آمار فازی. هشتمین سمینار آمار و احتمال فازی، دانشگاه فردوسی ۹۸-۹۳.

طاهری، م و ایروانی قدیم، ف و کبیریان، م. (۱۳۹۷ب). مقدمه‌ای بر استفاده از ریاضیات فازی در باستان‌شناسی (مورد مطالعاتی: بازسازی مجازی برج طغرل با استفاده از قابلیت اعتماد فازی). پژوهه باستان‌سنجی، ۴(۲)، ۴۸-۳۵ . https://doi.org/10.29252/jra.4.2.35

کبیریان، م. (۱۳۹۷). کاربرد منطق فازی در باستان‌شناسی (مطالعهٔ موردی؛ کورگان‌های جعفرآباد و طوعلی سفلی). پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اصفهان.

مقصودی، م و زمان‌زاده، س و اهدایی، ا و یوسفی زشک، ر و یمانی، م. (۱۳۹۴). تحلیل نقش عوامل محیطی در مکان‌گزینی سکونت‌گاه‌های پیشاز تاریخ دشت ورامین با استفاده از منطق فازی. برنامه‌ریزی و آمایش فضا ۱۹(۳)، ۲۶۱-۲۳۳.

علیرضازاده، م و حیدریان، م و خسروزاده، ع. (۱۳۹۹). کاربرد GIS و منطق فازی در مدیریت منابع فرهنگی؛ ارائهٔ مدل پیش‌بینی محوطه‌های مس و سنگ چهارمحال و بختیاری. مطالعات باستانشناسی ۱۲(۳)، ۲۱۶-۱۹۳ https://doi.org/10.22059/jarcs.2020

وانگ، ل. (۱۳۷۸). سیستم‌های فازی و کنترل فازی. ترجمه: تشنه‌لب، محمد و صفاپور، نیما و افیونی، داریوش. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

Maghsoudi, M, Zamanzadeh S., Ehdaei A, Yousefi Zoshk R, Yamani M. (2015). Analysis of the role of environmental factors in site selecting of prehistoric settlements in Varamin Plain with usage fuzzy logic. Journal of Spatial Planning and Geomatics. 19:233–63. [in Persian]

Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1–13. https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2

Migliorini, S., Quintarelli, E., & Belussi, A. (2022). Tracking data provenance of archaeological temporal information in presence of uncertainty. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 15(2).

CRC Press. https://doi.org/10.1201/b18530

Niccolucci, F., Pardi, G., & Zoppi, T. (1996). A georeferenced archive of archaeological settlements. *Archeologia e Calcolatori*, 7, 161–177 [in Italian].

Taheri, S., Iravani Ghadim, F., & Kabirian, M. (2019). Application of fuzzy inference systems in archaeology. *7th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems (CFIS)*, 148–155. https://doi.org/10.1109/CFIS.2019.8692167.

Taheri, S., Iravani Ghadim F, Kabirian M. (2018). Using of fuzzy mathematics in archeology. *The 6th Iranian joint congress on Fuzzy and Intelligent Systems*, Kerman. 307–14. [in Persian].

Taheri S., Iravani Ghadim F, Kabirian M. (2018a). Fuzzification of archaeological data for using in fuzzy statistics. *8th Seminar of Fuzzy Statistics and Probablity*, Mashhad. 93–8. [in Persian].

Taheri, S., Iravani Ghadim, F., Kabirian, M. (2018b). An introduction to the use of fuzzy mathematics in archeology (acase study: virtual reconstruction of Togrul Tower by using fuzzy reliability). Journal of Reasearch in Archaeometry. 4(2), 35-48. doi:10.29252/jra.4.2.35 [in Persian].

Thomas, R. M. (2020). Sex determination using DNA and its impact on biological anthropology. In A. R. Klales (Ed.), *Sex Estimation of the Human Skeleton (pp. 343–350)*. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815767-1.00021-3

Wang, L.-X. (1997). A Course in Fuzzy Systems and Control (1st ed.). Prentice Hall.

Wang, l. (1999). *Course In Fuzzy Systems and Control.* (Translated by Teshneh-lab, M., safapour, N. & Afyooni, D.) [in Persian].

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.210]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:21 +0330 on Sunday November 22nd 2026

Kabirian, M.A., Taheri, S.M., Niknami, K., & Ramezani, M. (2025). Development of a Fuzzy Inference System for Estimating the Sex of Human Skeletal Remains Based on Two Morphological Studies, *Journal of research on Archaeometry,* 11(2),11210, DOI: 10.66224/jra.2025.11.210