



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دستورکار آزمایشگاه هوش محاسباتی

جلسه ۱۴

منطق فازی و خوشه‌بندی فازی

استاد درس: دکتر مهران صفایانی

فصل ۱۴

منطق فازی و خوشه‌بندی فازی

اهداف این جلسه

در این جلسه یاد خواهید گرفت که

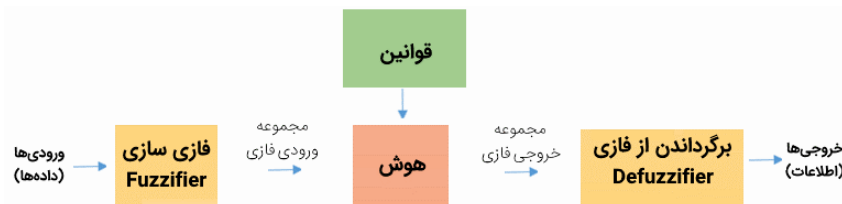
- چگونه منطق فازی را با استفاده از کتابخانه‌های زیر در پایتون استفاده کنید.

۱. skfuzzy

۲. fuzzylogic

- چگونگی خوشه‌بندی فازی در پایتون پیاده‌سازی می‌شود.
- نحوه عملکرد و استفاده از خوشه‌بندی فازی را به صورت بصری متوجه می‌شوید.

۱.۱۴ ساختار منطق فازی



۲.۱۴ پیاده‌سازی منطق فازی

بیشتر مواقع منطق فازی را با استفاده از متلب پیاده سازی می‌کنند. در این آزمایش به پیاده‌سازی منطق فازی با استفاده از زبان پایتون می‌پردازیم. در زبان برنامه‌نویسی پایتون سه کتابخانه برای پیاده‌سازی منطق فازی وجود دارند:

- skfuzzy
- fuzzylogic
- Simpful

در ادامه مسئله مطرح شده را با استفاده از دو کتابخانه skfuzzy و fuzzylogic پیاده‌سازی می‌کنیم.

۳.۱۴ شرح مسئله

تعداد مبتلایان به بیماری‌های قلبی روز به روز در حال افزایش است. مانند هر بیماری دیگری، تشخیص زودهنگام، تعیین خطر از قبل و انجام اقدامات احتیاطی لازم یا شروع درمان مناسب در اسرع وقت در بیماری‌های قلبی بسیار مهم است. توسعه مداوم فناوری و استفاده از سیستم‌های منطق فازی در حوزه سلامت از نظر تشخیص زودهنگام و تشخیص صحیح بیماری‌های قلبی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه، یک سیستم فازی برای تعیین خطر بیماری قلبی طراحی شد. این سیستم از ۲۴ پایه قانون و دارای ساختار سیستم (Multi Input Single Output) MISO متشکل از ۶ ورودی-تک خروجی است. مقادیر ورودی فرد؛ سن، فشار خون، کلسترول، قند خون، LDL و HDL می‌باشند. مقدار خروجی شامل موتور استخراج "ریسک" ممدانی و مرکز ثقل است. خطر ابتلا به بیماری قلبی با اعمال روش‌های لازم برای اطلاعات دریافتی از کاربر محاسبه می‌شود.

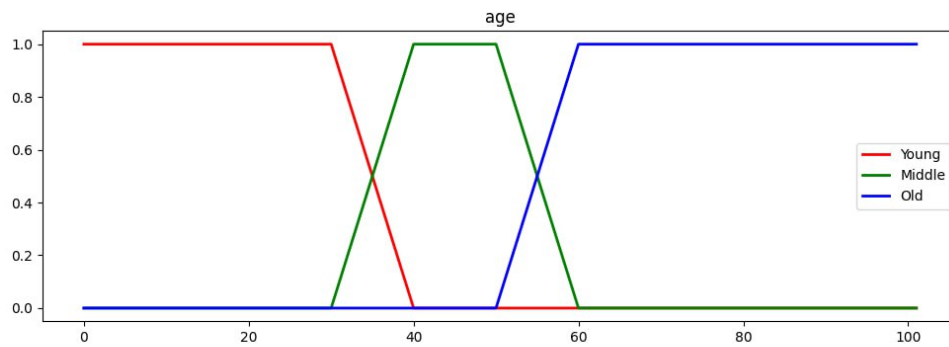
۱.۳.۱۴ مراحل حل مسئله و توابع عضویت

مراحل حل مسئله به طور کلی به صورت زیر است:

۱. مشخص کردن دامنه تغییر متغیرها
 ۲. مشخص کردن توابع عضویت و حالات مختلف متغیرها
 ۳. تعریف کردن قوانین
 ۴. فازی‌سازی^۱ و برگرداندن از فازی^۲ با استفاده از توابع و قوانین و نتایج گام‌های قبلی
- توابع عضویت هر یک از متغیرها به صورت زیر می‌باشد:

¹Fuzzification

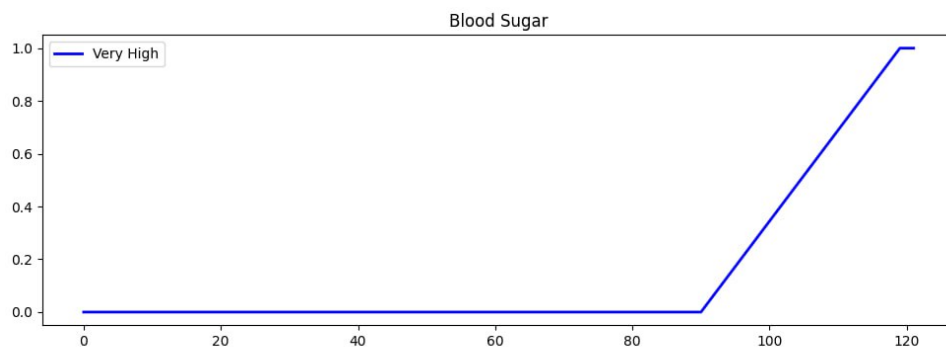
²Defuzzification



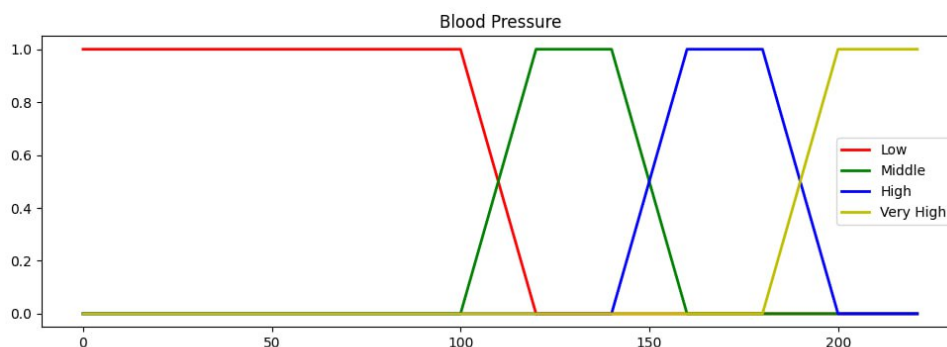
$$\mu_{\text{Young}}(x) = \begin{cases} 1, & x < 30 \\ -\frac{1}{10}(x-40), & 30 \leq x < 40 \\ 0, & \text{diger} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{MiddleAge}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{10}(x-30), & 30 \leq x < 40 \\ 1, & 40 \leq x < 50 \\ -\frac{1}{10}(x-60), & 50 \leq x < 60 \\ 0, & \text{diger} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Old}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{10}(x-50), & 50 \leq x < 60 \\ 1, & x \geq 60 \\ 0, & \text{diger} \end{cases}$$



$$\mu_{\text{high}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{30}(x-90), & 90 \leq x < 120 \\ 1, & x \geq 120 \\ 0, & \text{diger} \end{cases}$$

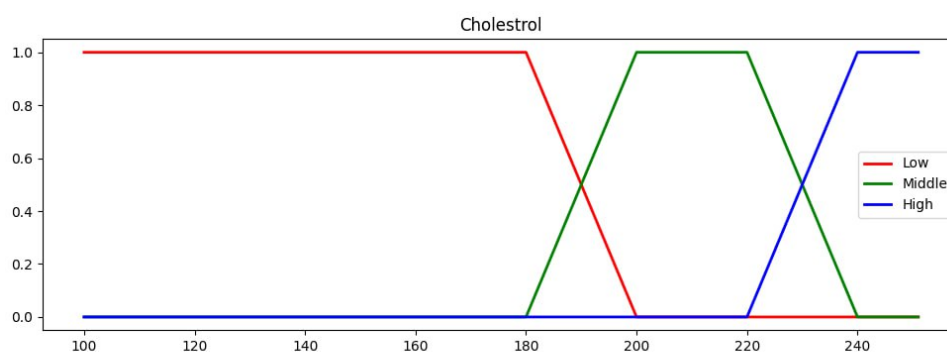


$$\mu_{low}(x) = \begin{cases} 1, & x < 100 \\ \frac{-1}{20} \cdot (x - 120), & 100 \leq x < 120 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{middle}(x) = \begin{cases} \frac{1}{20} \cdot (x - 100), & 100 \leq x < 120 \\ 1, & 120 \leq x < 140 \\ \frac{-1}{20} \cdot (x - 160), & 140 \leq x < 160 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{high}(x) = \begin{cases} \frac{1}{20} \cdot (x - 140), & 140 \leq x < 160 \\ 1, & 160 \leq x < 180 \\ \frac{-1}{20} \cdot (x - 200), & 180 \leq x < 200 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

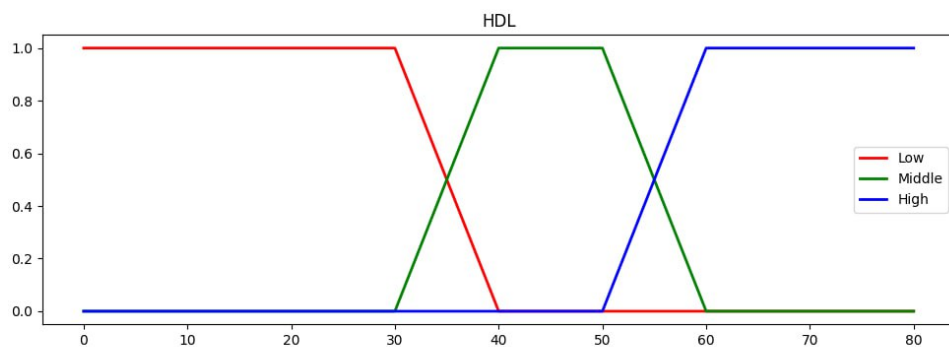
$$\mu_{veryhigh}(x) = \begin{cases} \frac{1}{20} \cdot (x - 180), & 180 \leq x < 200 \\ 1, & x \geq 200 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$



$$\mu_{low}(x) = \begin{cases} 1, & x < 180 \\ \frac{-1}{20} \cdot (x - 200), & 180 \leq x < 200 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{middle}(x) = \begin{cases} \frac{1}{20} \cdot (x - 180), & 180 \leq x < 200 \\ 1, & 200 \leq x < 220 \\ \frac{-1}{20} \cdot (x - 240), & 220 \leq x < 240 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

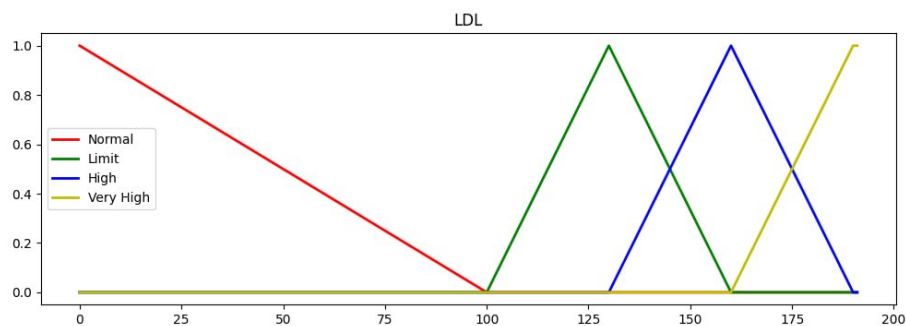
$$\mu_{high}(x) = \begin{cases} \frac{1}{20} \cdot (x - 220), & 220 \leq x < 240 \\ 1, & x \geq 240 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$



$$\mu_{low}(x) = \begin{cases} 1, & x < 30 \\ -\frac{1}{10} \cdot (x - 40), & 30 \leq x < 40 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{middle}(x) = \begin{cases} \frac{1}{10} \cdot (x - 30), & 30 \leq x < 40 \\ 1, & 40 \leq x < 50 \\ -\frac{1}{10} \cdot (x - 60), & 50 \leq x < 60 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{high}(x) = \begin{cases} \frac{1}{10} \cdot (x - 50), & 50 \leq x < 60 \\ 1, & x \geq 60 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

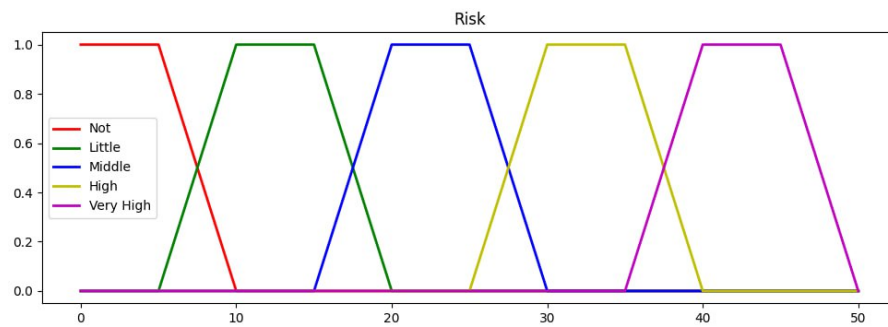


$$\mu_{normal}(x) = \begin{cases} \frac{-x}{100}, & x < 100 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{limit}(x) = \begin{cases} \frac{1}{30} \cdot (x - 100), & 100 \leq x < 130 \\ -\frac{1}{30} \cdot (x - 160), & 130 \leq x < 160 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{high}(x) = \begin{cases} \frac{1}{30} \cdot (x - 130), & 130 \leq x < 160 \\ -\frac{1}{30} \cdot (x - 190), & 160 \leq x < 190 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{veryhigh}(x) = \begin{cases} \frac{1}{30} \cdot (x - 160), & 160 \leq x < 190 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$



$$\mu_{not}(x) = \begin{cases} 1, & x < 5 \\ -\frac{1}{5} \cdot (x - 10), & 5 \leq x < 10 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{little}(x) = \begin{cases} \frac{1}{5} \cdot (x - 5), & 5 \leq x < 10 \\ 1, & 10 \leq x < 15 \\ -\frac{1}{5} \cdot (x - 20), & 15 \leq x < 20 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{middle}(x) = \begin{cases} \frac{1}{5} \cdot (x - 15), & 15 \leq x < 20 \\ 1, & 20 \leq x < 25 \\ -\frac{1}{5} \cdot (x - 30), & 25 \leq x < 30 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{high}(x) = \begin{cases} \frac{1}{5} \cdot (x - 25), & 25 \leq x < 30 \\ 1, & 30 \leq x < 35 \\ -\frac{1}{5} \cdot (x - 40), & 35 \leq x < 40 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\mu_{veryHigh}(x) = \begin{cases} \frac{1}{5} \cdot (x - 35), & 35 \leq x < 40 \\ 1, & 40 \leq x < 45 \\ -\frac{1}{5} \cdot (x - 50), & 45 \leq x < 50 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

در ادامه از مقادیر زیر و یا مجموعه داده به فرمت CSV. می‌توانید به عنوان ورودی استفاده کنید.

- Age: 71
- BloodPressure: 130
- Cholestrol: 230
- BloodSugar: 145
- LDL(Low Density Lipoprotein): 190
- HDL(High Density Lipoproteins): 80

۴.۱۴ پیاده‌سازی با استفاده از کتابخانه skfuzzy

تمرین اول: مشخص کردن دامنه مقادیر

numpy و تابع arrange ابتدا باید دامنه مقادیر را با استفاده از skfuzzy برای پیاده‌سازی منطق فازی با استفاده از کتابخانه به صورت زیر مشخص کنید:

- `variable = np.arange()`

۱.۴.۱۴ تمرین دوم: تعریف توابع عضویت

سپس توابع عضویت را با محدوده‌های واجد شرایط زبانی (پایین، متوسط، زیاد و غیره) را تعریف کنید. به صورت زیر:

- `age_young = mf.trapmf(x_age, [-30, -5, 30, 40])`
- `bloodSugar_veryHigh = mf.trimf(x_bloodSugar, [90, 120, 130])`

۲.۴.۱۴ تمرین سوم: فازی‌سازی

برای هر فازی‌سازی واجد شرایط زبانی استفاده skfuzzy در ادامه و پس از مشخص شدن ورودی‌ها از تابع درونیابی کتابخانه کنید. به صورت زیر:

- `age_fit_young = fuzz.interp_membership(x_age, age_young, input_age)`

۳.۴.۱۴ تمرین چهارم: قانون‌نویسی و نتایج

در ادامه با استفاده از مجموعه قوانین داده شده قوانین را نوشته و سپس براساس قوانین و عملگرهای فازی خروجی‌ها را تولید می‌کنید. خروجی‌ها عبارتند از: out_Not ، out_little ، out_middle ، out_high ، out_veryhigh. در ادامه نیز نمونه قانون‌نویسی و خروجی گرفتن را مشاهده می‌کنید:

- `rule1 = np.fmin(np.fmin(np.fmin(np.fmin(bloodPressure_fit_low ,
cholesterol_fit_low), ldl_fit_normal), hdl_fit_high), risk_not)`
- `out_not = np.fmax(np.fmax(np.fmax(np.fmax(np.fmax(rule1,rule5),rule6),
rule7),rule8),rule12)`

سپس خروجی نهایی که out_risk می‌باشد را براساس ۵ خروجی قبلی و عملگرها بدست آورید و سپس عملیات برگرداندن از فازی را انجام دهید. به صورت زیر:

- `defuzzified = fuzz.defuzz(y_risk, out_risk, 'method')`

در اینجا دو روش centroid و bisector باید خروجی بگیرید.

۵.۱۴ پیاده‌سازی با استفاده از کتابخانه fuzzylogic

۱.۵.۱۴ تمرین پنجم: مشخص کردن دامنه مقادیر

برای پیاده‌سازی منطق فازی با استفاده از کتابخانه fuzzylogic ابتدا باید دامنه مقادیر را با استفاده از تابع Domain به صورت زیر تعریف کنید:

- `x_age_fl = Domain("Age", 0, 101, res = 1)`

۲.۵.۱۴ تمرین ششم: تعریف توابع عضویت

سپس توابع عضویت را با محدوده‌های واجد شرایط زبانی (پایین، متوسط، زیاد و غیره) را به صورت زیر تعریف کنید:

- `x_age_fl.young = trapezoid(-30,-5,25,40,c_m=1)`
- `x_age_fl.old = R(50,60)`
- `x_ldl_fl.normal = S(0,100)`
- `x_ldl_fl.high = triangular(160, 190)`

۳.۵.۱۴ تمرین هفتم: قانون نویسی و نتایج نهایی

در ادامه و پس از مشخص شدن ورودی‌ها با استفاده از مجموعه قوانین داده شده قوانین را نوشته و سپس براساس قوانین و عملگرهای فازی خروجی‌ها را تولید می‌کنید. نحوه استفاده از قوانین برای تولید خروجی نهایی:

- `hdl_fl_fit_low = x_hdl_fl.low(input_hdl_fl)`
- `rule1_fl = Rule((x_bloodPressure_fl.low, x_cholesterol_fl.low, x_ldl_fl.normal, x_hdl_fl.high):y_risk_fl.Not)`
- `rules = ((x_bloodPressure_fl.low, x_cholesterol_fl.low, x_ldl_fl.normal, x_hdl_fl.high):y_risk_fl.Not,...)`
- `rules = rule1_fl | rule2_fl | rule3_fl | rule4_fl | rule5_fl | rule6_fl | ...`
- `rules = sum([rule1_fl, rule2_fl, rule3_fl, ...])`

نحوه خروجی گرفتن:

- به صورت کلی:

– `rules(values/inputs)`

- به صورت موردی:

– `out_Not = y_risk_fl.Not(rules(values/inputs))`

۶.۱۴ خوشه‌بندی فازی

خوشه‌بندی^۱ مهم‌ترین روش یادگیری بدون نظارت است. خوشه به مجموعه‌ای از داده‌ها گفته می‌شود که به هم شباهت داشته باشند. در خوشه‌بندی سعی می‌شود تا داده‌ها به خوشه‌هایی تقسیم شوند که شباهت بین داده‌های هر خوشه حداکثر و شباهت داده‌های درون دو خوشه متفاوت حداقل باشد. در خوشه‌بندی کلاسیک، هر نمونه داده متعلق به یک و فقط یک خوشه است و نمی‌تواند عضو دو خوشه یا بیشتر باشد. به عبارتی خوشه‌ها همپوشانی ندارند، در حالی که در خوشه‌بندی فازی به کشف مدل‌های فازی از داده‌ها می‌پردازد. ایده بنیادین در خوشه‌بندی فازی به این ترتیب است که فرض کنیم هر خوشه مجموعه‌ای از عناصر است، سپس با تغییر در تعریف عضویت عناصر در این مجموعه از حالتی که یک عنصر فقط بتواند عضو یک خوشه باشد (حالت افرازی)، به حالتی که هر عنصر می‌تواند با درجه عضویت‌های مختلف داخل چندین خوشه قرار بگیرد، دسته‌بندی‌هایی منطبق‌تر با واقعیت ارائه کنیم. مراحل الگوریتم خوشه‌بندی فازی به خوشه‌بندی K-Means شباهت دارد و به شرح زیر است:

- تعیین تعداد خوشه‌ها در یک مجموعه داده
 - تخصیص تصادفی هر داده به خوشه مرتبط به آن
 - تکرار مکرر خوشه جهت پوشش همه داده‌ها در خوشه‌های نزدیک‌تر
 - محاسبه مرکز خوشه‌های هر خوشه
 - تشخیص حضور هر داده در خوشه مربوطه
- از الگوریتم‌های پایه‌ای خوشه‌بندی فازی می‌توان الگوریتم Fuzzy C-Means را نام برد.

۱.۶.۱۴ الگوریتم FCM

در این روش هدف کمینه کردن تابع زیر است:

$$J = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^c \|x_j - v_i\|^2 w_{ij}^m \quad (۱.۱۴)$$

که در آن شرط زیر باید رعایت شود:

$$\sum_{i=1}^c w_{ij} = 1 \quad (۲.۱۴)$$

روال کامل این الگوریتم به صورت زیر است:

۱. تعیین مقادیر اولیه:
 - تعداد خوشه‌ها: c
 - مقدار فازی بودن الگوریتم: m
 - مراکز اولیه برای خوشه‌ها: V
۲. محاسبه مقدار تعلق هر داده به خوشه مورد نظر با توجه به رابطه زیر:

$$w_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (۳.۱۴)$$

^۱Clustering

۳. محاسبه مقدار مراکز جدید برای هر خوشه با توجه به رابطه زیر:

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^k x_j \times w_{ij}^m}{\sum_{j=1}^N w_{ij}^m} \quad (۴.۱۴)$$

۴. تکرار مراحل ۲ و ۳ تا زمانی که تفاوت بین W ها (میزان تعلق داده‌ها به خوشه‌ها) در مرحله جدید با مقدار W ها در مرحله قبل تفاوتی کمتر از یک مقدار آستانه داشته باشند.

این الگوریتم را به صورت عملی داخل نوت بوک مربوطه بر روی دیتاست iris اعمال می‌کنیم.