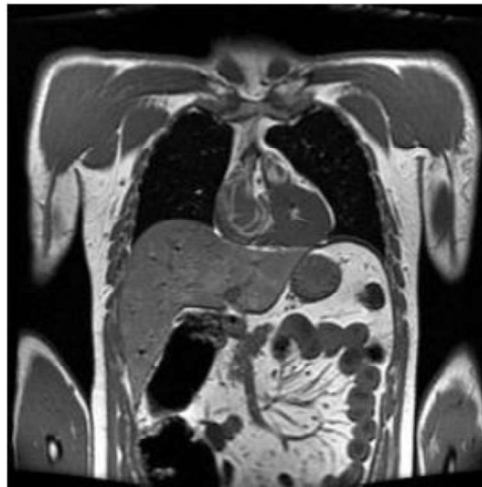


آزمایش نهم: ناحیه‌بندی (Segmentation) تصاویر پزشکی

در تصاویر پزشکی، تقسیم‌بندی پیکسل‌های متعلق به یک ارگان خاص را ناحیه‌بندی می‌گویند. به عنوان مثال در تصویر t1 MRI زیر، مشخص شود که کدام پیکسل‌ها متعلق به بافت ریه یا کبد هستند.



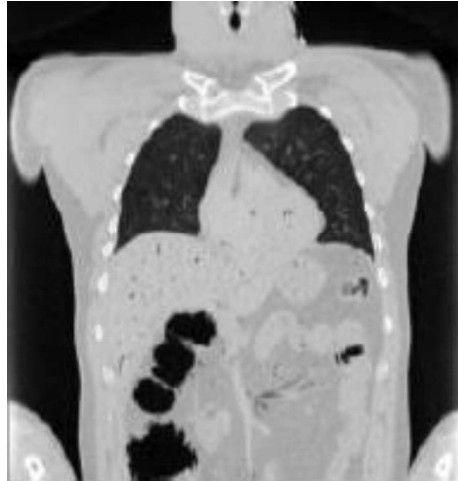
ناحیه‌بندی کاربردهای متعددی در پردازش تصاویر پزشکی دارد، از جمله:

(۱) اندازه‌گیری سطح یا حجم یک ارگان به صورت اتوماتیک

(۲) بازسازی یک دید سه بعدی از ارگان‌ها

(۳) نگاشت تصاویر پزشکی (Image Registration)

یکی از مقدماتی‌ترین روش‌های ناحیه‌بندی را می‌توان آستانه‌گذاری (Thresholding) دانست. در این روش، یک آستانه بالا و پایین برای ارگان‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، در تصویر CT زیر به این روش بافت استخوانی تا حدودی ناحیه‌بندی شده است:



اما ناحیه‌بندی بافت ریوی در تصویر بالا به دلیل همپوشانی هیستوگرامی به روش آستانه‌گذاری با دقت بالایی همراه نیست:



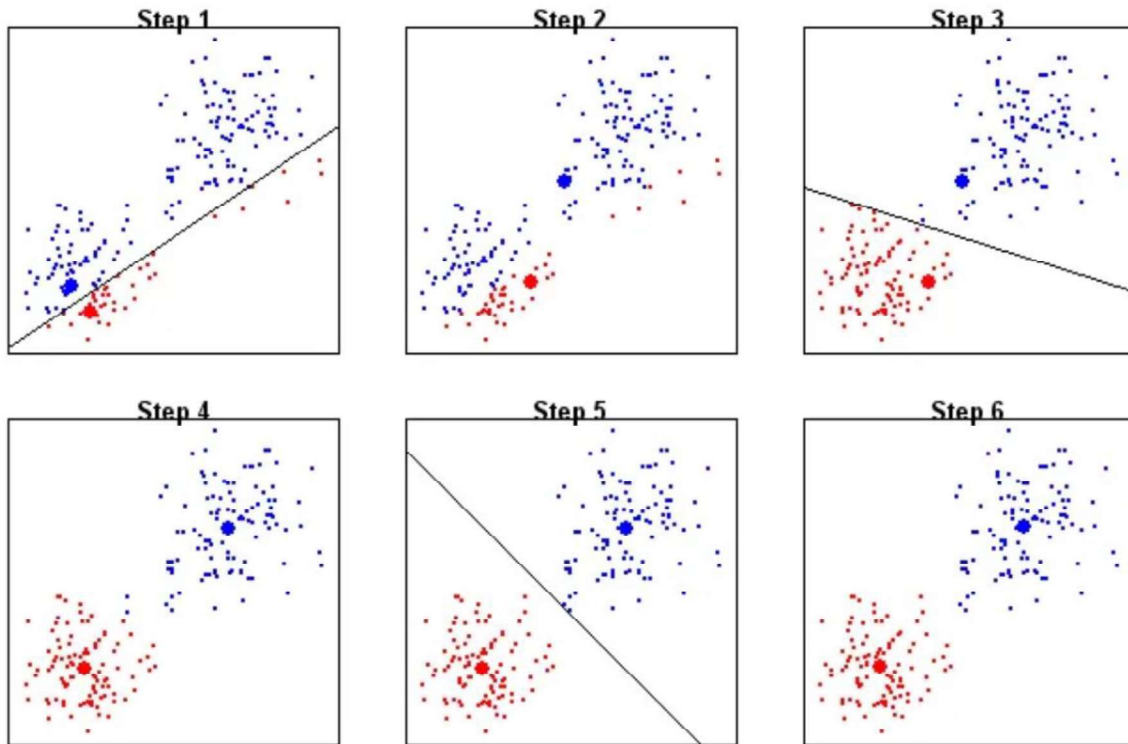
به دلیل تغییرات زیاد آستانه‌ها در تغییر تصاویر مختلف، و همچنین عدم توجه به توزیع مکانی پیکسل‌ها این روش قابل اعتماد نیست و به روش‌های پیشرفته‌تر و احتمالاً بر اساس تعریف یک تابع هزینه نیاز است.

یکی از روش‌های مرسوم ناحیه‌بندی که از ایده ابتدایی آستانه‌گذاری استفاده می‌کند، Region Growing می‌باشد. در این روش، ابتدا چند پیکسل ابتدایی در بافت‌های هدف توسط متخصص انتخاب شده و پیکسل‌های همسایه بر اساس آستانه‌های تعیین شده برای این بافت هدف، اضافه یا حذف می‌شوند. بنابراین در این روش توزیع مکانی تا حدودی در نظر گرفته شده است. واضح است که در این روش پیکسل‌های ابتدایی در کیفیت نتیجه نهایی بسیار موثر هستند. بنابراین می‌توان شبه کد مربوط به این روش را به صورت زیر آورد:

```

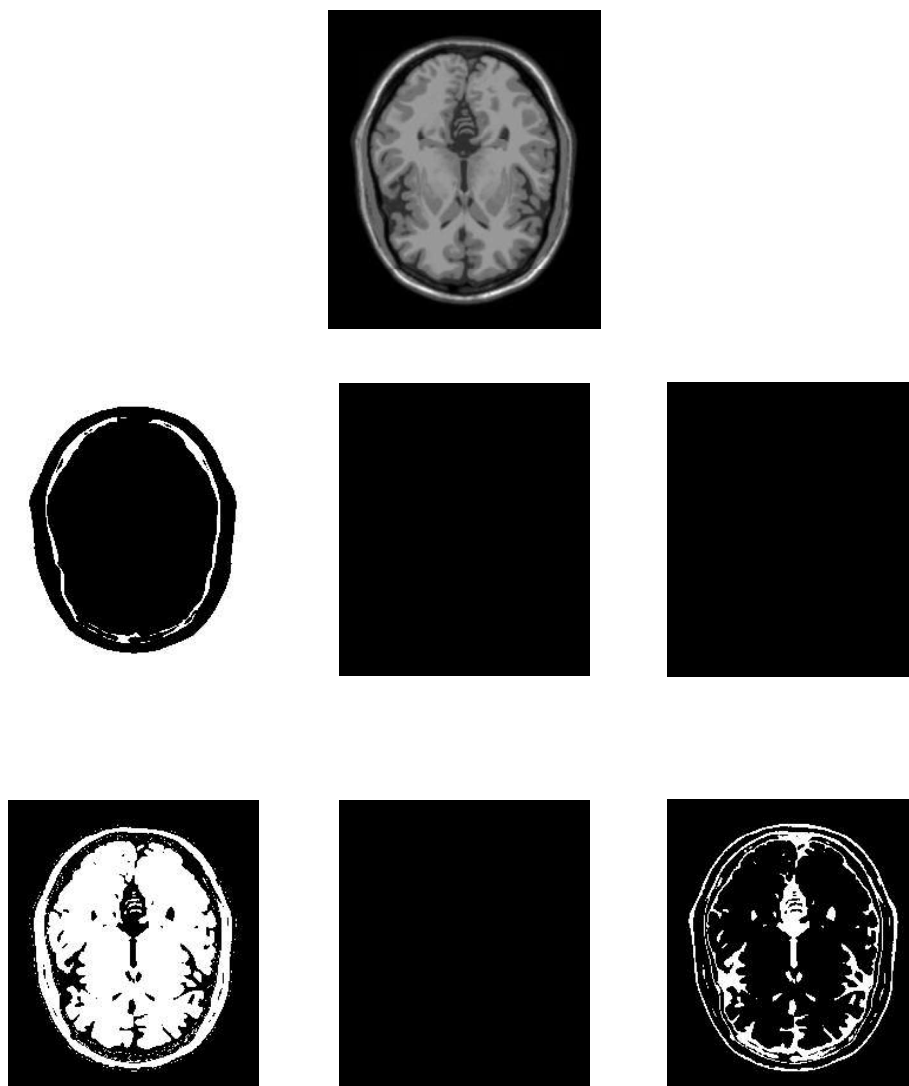
do
  for each pixel in the set
    for each of its neighbours not yet included
      if the intensity falls between the thresholds
        add it to our set
      endif
    next neighbour
  next pixel in the set
until no pixels were added in the last pass

```

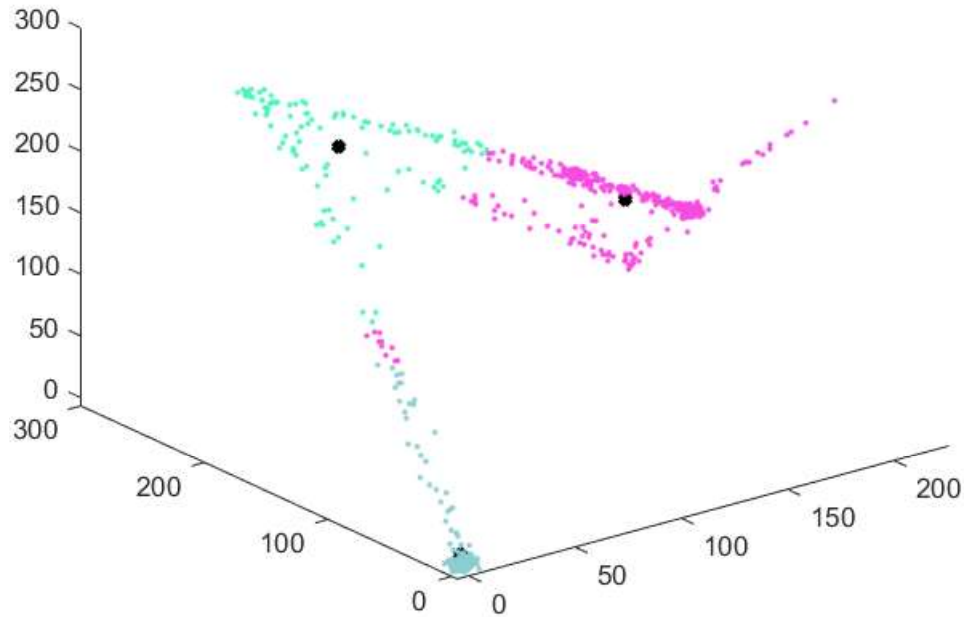


رویکردهای پیشرفته‌تری در ناحیه‌بندی را می‌توان بر اساس روش‌های مرتبط با یادگیری ماشین (Machine Learning) معرفی کرد. یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها در این حوزه را می‌توان روش‌های ناحیه‌بندی مبتنی بر خوشه‌بندی (Clustering) دانست. روش Kmeans از پرکاربردترین و در عین حال ساده‌ترین روش‌های خوشه‌بندی می‌باشد که در ناحیه‌بندی تصاویر پزشکی بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌است. در روش Kmeans، ابتدا K داده به عنوان مراکز K خوشه در نظر گرفته می‌شود. سپس، با توجه به مینیمم فاصله اقلیدسی داده‌های دیگر به این K نقطه، تقسیم‌بندی نقاط به K خوشه انجام می‌شود. در مرحله بعد میانگین نقاط این K خوشه به عنوان مراکز جدید این K خوشه در نظر گرفته شده و دوباره تخصیص‌دهی نقاط به این K خوشه انجام می‌گیرد. این روند تا رسیدن به یک همگرایی در تخصیص نقاط ادامه پیدا می‌کند. در تصاویر پزشکی، مخصوصاً MRI، به

دلیل فراهم بودن تصاویر مختلف مانند T1، T2 و PD، می‌توان شدت روشنایی این تصاویر را به عنوان ویژگی (feature) های پیکسل‌های مختلف برای استفاده در روش‌های خوشه‌بندی دانست. در مثال زیر (شکل ۱-۷ و ۷-۷) یک تصویر MRI از مغز به ۶ خوشه تقسیم‌بندی شده است که با توجه به توزیع نهایی نقاط، مشخص است که ۳ خوشه به عنوان خوشه اصلی قابل مشاهده هستند:



شکل ۱-۷: شش خوشه به دست آمده از روش kmenas بر روی تصویر نمونه MRI



شکل ۷-۲: توزیع فضایی خوشه‌های به دست آمده در شکل ۷-۱

K-Means Pseudocode

```
## K-Means Clustering

1. Choose the number of clusters(K) and obtain the data points
2. Place the centroids c_1, c_2, ..... c_k randomly
3. Repeat steps 4 and 5 until convergence or until the end of a fixed
   number of iterations
4. for each data point x_i:
   - find the nearest centroid(c_1, c_2 .. c_k)
   - assign the point to that cluster
5. for each cluster j = 1..k
   - new centroid = mean of all points assigned to that cluster
6. End
```

یکی دیگر از روش‌های خوشه‌بندی نسبتاً پیشرفته‌تر و البته پرکاربرد روش Fuzzy c-Means (FCM) می‌باشد که دارای تفاوت‌های عمده‌ای با روش kmeans می‌باشد. همانطور که بیان شد، در روش kmeans، میزان تعلق پیکسل‌ها با ناحیه‌های موردنظر به صورت سخت (تعلق یا عدم تعلق) است. واقعیت این است که در مواقعی نظیر پایین کنتراست یا نویزی بودن تصویر دریافتی، تعلق برخی از پیکسل‌ها نیاز به نظر و مشورت با پزشکان متخصص می‌باشد. بنابراین روشی که بتواند میزان تعلق یک پیکسل به ناحیه‌های مختلف را به

صورت احتمالاتی بیان کند در این مواقع برتری دارد. روش FCM این امکان را فراهم می‌کند. به صورت دقیق‌تر تابع هزینه این روش به صورت زیر قابل بیان است:

$$J_m = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^N \mu_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2$$

که در آن، D تعداد داده‌ها، N تعداد خوشه‌ها، m عددی مثبت برای کنترل میزان همپوشانی تعلق‌ها بوده که معمولاً برابر با ۲ در نظر گرفته می‌شود، x_i برابر با i امین داده، c_j برابر با مرکز j امین خوشه و μ_{ij}^m برابر با درجه تعلق داده i ام (یعنی x_i) به j امین خوشه بوده و مجموع تعلق هر داده به خوشه‌های مختلف برابر با یک می‌باشد. یعنی: $\sum_{j=1}^N \mu_{ij} = 1$ برای $i = 1, 2, \dots, D$.

برای مینیمم‌سازی J_m نسبت به μ_{ij} و c_j برای همه i و j های ممکن، از الگوریتم Expectation Maximization استفاده می‌شود. به این صورت که با شروع از یک مقدار اولیه، با فرض ثابت بودن μ_{ij} ها، بهینه‌سازی نسبت به c_j به صورت زیر در می‌آید:

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^D \mu_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^D \mu_{ij}^m}$$

سپس با ثابت نگه داشتن c_j ها، بهینه‌سازی نسبت به μ_{ij} ها به صورت زیر انجام می‌شود:

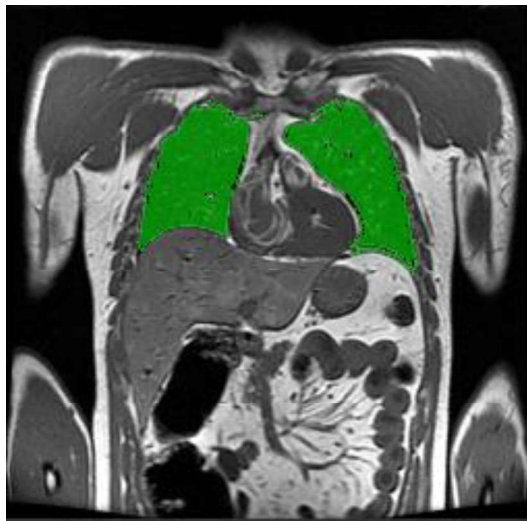
$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^N \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}$$

سپس تابع هزینه J_m محاسبه می‌شود. دو رابطه قبلی آنقدر تکرار می‌شوند تا تغییرات J_m در دو تکرار متوالی نسبت به یک آستانه به مقدار کافی کوچک به ثبات برسد.

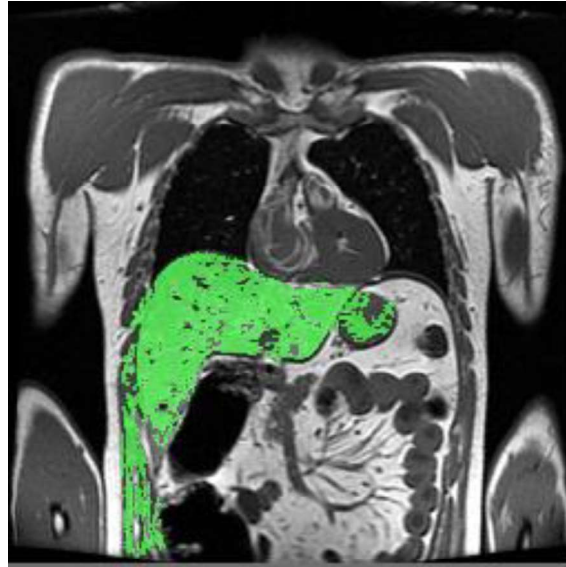
دو رابطه قبل را اثبات کنید.

شبیه‌سازی‌ها:

➤ **Q1:** تصویر thorax_t1.jpg در پوشه S3_Q1_utils را خوانده و اسلایس اول آن را در نظر بگیرید. هدف ناحیه‌بندی بافت ریوی و کبد مانند شکل‌های ۳-۷ و ۴-۷ می‌باشد. ابتدا با آزمون و خطا مختصات یک پیکسل مرکزی در این بافت‌ها را بیابید و شدت روشنایی این پیکسل را در نظر بگیرید. سپس، با استفاده از آستانه‌های مختلف مناسب برای شدت روشنایی، با شروع از این پیکسل‌های مرکزی بر روی پیکسل‌های مجاور حرکت کرده و ناحیه‌بندی را انجام دهید. در انتها بافت ریوی و کبد را در تصویر اولیه به صورت زیر (شکل ۳-۷ و ۴-۷) نمایش دهید.



شکل ۳-۷: ناحیه‌بندی بافت ریوی



شکل ۷-۴: ناحیه‌بندی بافت کبد

➤ **Q2:** در این سوال، هدف تولید نتایج شکل ۷-۱ با استفاده روش kmeans می‌باشد. به این منظور سه تصویر pd.jpg، t1.jpg و t2.jpg را از پوشه S3_Q2_utils خوانده و در بعد اول روی هم concatenate کنید. سپس بردارهای سه بعدی پیکسل‌ها را به عنوان ویژگی‌های پیکسل‌ها در نظر گرفته و با استفاده از دستور kmeans به ۶ خوشه، ناحیه بندی کرده و مانند شکل ۷-۱ نمایش داده و تحلیل کنید.

➤ **Q3:** سوال قبل را بدون استفاده از دستور kmeans و به صورت پایه برنامه‌نویسی کرده و با نتایج سوال قبل مقایسه کنید. در واقع تابع kmeans را خودتان پیاده‌سازی نمایید.

➤ **Q4:** ناحیه‌بندی سوال Q2 را با استفاده از روش FCM، با استفاده از دستور fcm متلب، انجام دهید، خوشه‌های به دست آمده را رسم کرده و با نتایج Q2 مقایسه کنید. برای تعیین تعلق نهایی هر پیکسل به یک خوشه، از ماکزیمم‌گیری روی مقادیر μ_{ij} استفاده کنید.

➤ **Q5:** سوال پژوهشی: در مورد بهبود کیفیت روش Region Growing تحقیق کنید.

➤ **Q6:** سوال پژوهشی: در مورد روش‌های پیشرفته‌تر ناحیه‌بندی از جمله Snake و Level-set تحقیق کنید. همچنین دمو موجود در پوشه Snakes_demo را اجرا کرده و روند اجرای آن را به اختصار توضیح داده و در گزارش خود بیاورید.