



الجامعة الافتراضية السورية  
SYRIAN VIRTUAL UNIVERSITY

الجامعة الافتراضية السورية

وظيفة مادة معالجة اللغات الطبيعية

الفصل: F24

الصف: C1

الطالب: عبد الرحمن الصباغ

Abdul\_rahman\_79155

## نص الوظيفة:

1. سجل صوتك وأنت تلفظ كلمة "صارحوني" بتردد تقطيع  $fs = 16 \text{ KHz}$  باستخدام تعليمة ماتلاب وهي record ثم اقتطع منها ثلاثة نوافذ بطول 30 ms تقع النافذة الأولى ضمن لفظ الألف المدية، والثانية ضمن لفظ الواو المدية والثالثة ضمن لفظ الياء، وأظهر جميع النوافذ بالزمن، واستنتج تردد صوتك الأساسي بطريقتين مختلفتين وخصائص الصوت ضمن جميع النوافذ السابقة بالزمن والتردد، هل تلاحظ وجود اختلاف في خصائص الصوت بين النوافذ الثلاثة؟ ما سبب الاختلاف إن وجد؟
2. احسب مطال الطيف (FFT حيث يُحسب مطال الطيف على 512 نقطة) ومغلف الطيف باستخدام معاملات التنبؤ الخطي LPC (على نافذة طولها 512 وتمدد إلى نهايتها أصفار كما تم توضيحها في العملي)، ثم استنتج ترددات البواني للألف المدية، الخاصة بك (قمم الطيف  $F1, F2, F3$ ) وضعها في جدول واكتب ملاحظاته.
3. أعد الطلب 2 من أجل الواو المدية.
4. استخدم برنامج PRAAT للتأكد من نتائجك في الطلب الثاني والثالث وضعها في جدول وأرفق صور للشاشة لتوضيح استخدامك للبرنامج وسجل ملاحظاته. وباستخدام PRAAT قطع الإشارة الكلامية لإظهار حدود الأصوات المختلفة في كلمة "صارحوني".
5. اكتب تقريراً يتضمن الرمز البرمجي لكل الطلبات مع شرح لكافة التعليمات والنتائج التي حصلت عليها بدءاً من عملية التسجيل ثم استنتاج التردد الأساسي للصوت ثم حساب الطيف ومغلف الطيف وكيفية الحصول على ترددات البواني (أي لا يكفي وضع الأرقام وإنما يجب توضيح الطريقة).
6. أرفق الرمز البرمجي مع الوظيفة بملف وذلك للتحقق من الكود والقدرة على تنفيذه. وإرفاق التسجيل الصوتي الذي جرى استخدامه في الوظيفة.
7. ضع جميع هذه الملفات في ملف مضغوط واحد وحمله.

## الأدوات المستخدمة:

تم تنفيذ هذا المشروع باستخدام بيئة عمل متكاملة تعتمد على نظام التشغيل لينكس Fedora 42، Fedora 42 و ذلك لحصول عطل (بسبب ضعف التيار الكهربائي) في الحاسب الذي يعمل على نظام Windows 10، و لضيق الوقت تم استخدام الحاسب الاحتياطي الذي يعمل بنظام التشغيل Linux.

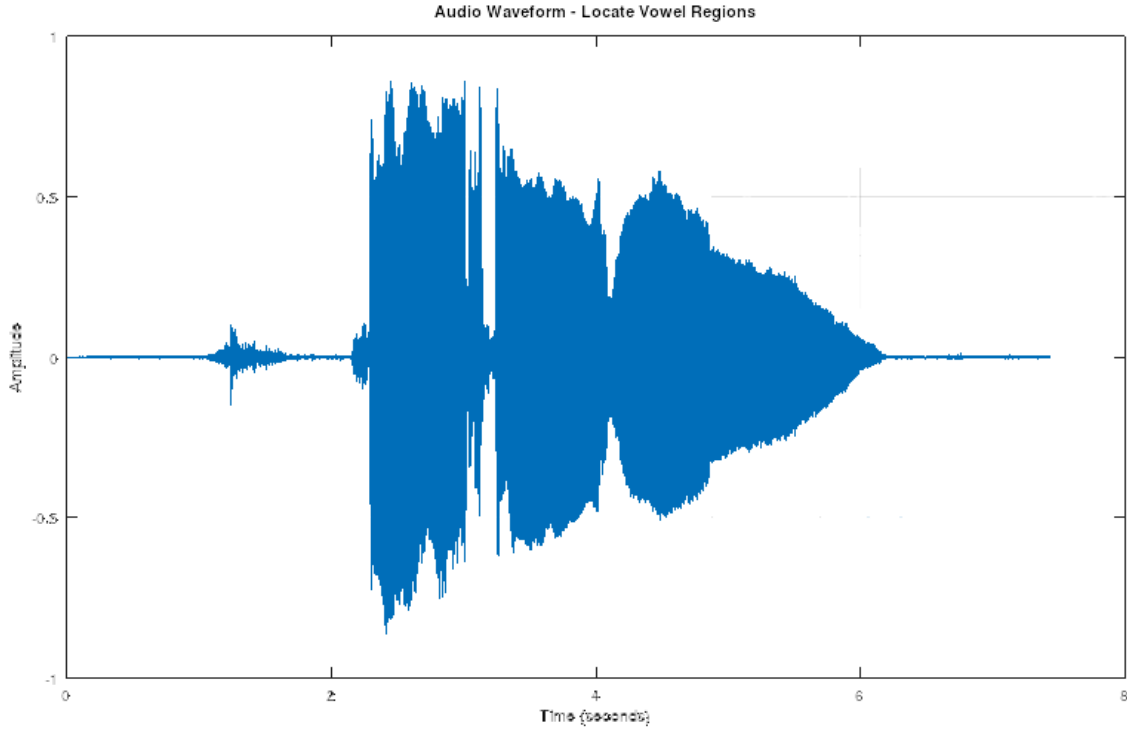
تم الاعتماد على أداتين رئيسيتين لمعالجة الإشارات الصوتية وتحليلها. تم استخدام GNU Octave كبديل عن MATLAB، بسبب عدم وجود نسخ مجانية ل MATLAB متاحة للعمل ضمن بيئة Linux و نظراً للتشابه الكبير في بناء الجمل والأوامر بين البيئتين، حيث يتوافق Octave مع معظم دوال MATLAB الأساسية خاصة في مجال معالجة الإشارات مثل دوال قراءة الملفات الصوتية وإعادة التقطيع والتحليل الطيفي.

بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام Python 3.13 مع مجموعة من المكتبات المتخصصة حيث تم استخدام مكتبة NumPy للعمليات الحسابية المتقدمة، ومكتبة SciPy لخوارزميات معالجة الإشارات، ومكتبة Matplotlib لتمثيل البيانات بيانياً، ومكتبة Librosa للمعالجة المتقدمة للإشارات الصوتية. هذا التنوع في الأدوات سمح بإجراء مقارنة بين النتائج المستخرجة من بيانات برمجية مختلفة وتقييم مدى اتساقها.

الحل:

الطلب الأول MATLAB/Octave:

نظراً لعدم وجود تعليمة Record في Octave أو في أي من المكتبات الخاصة به، تم تسجيل المقطع الصوتي "صارحوني" باستخدام الهاتف، و من ثم قراءتها باستخدام Octave.

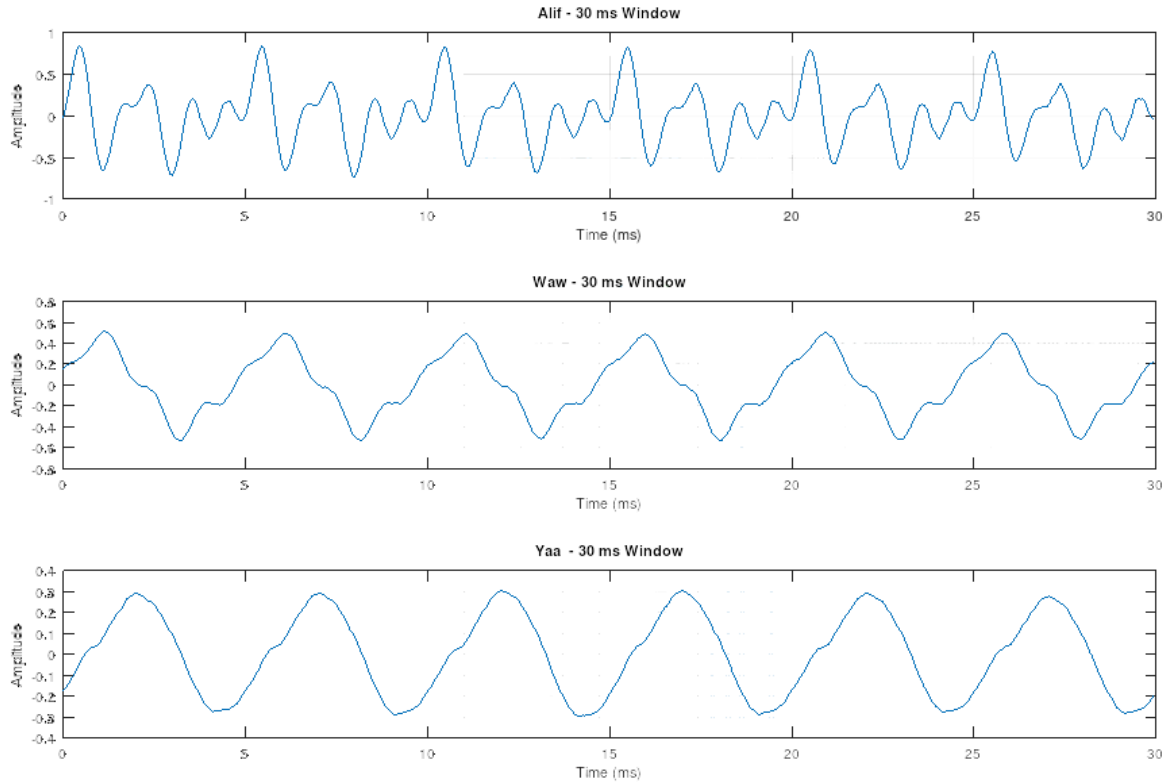


الشكل (1). إشارة التسجيل بعد التقطيع ب 16KHz.

بعد تحميل الملف الصوتي، تم إعادة تقطيع الإشارة من 48 كيلوهرتز إلى 16 كيلوهرتز لتتوافق مع متطلبات التحليل. ثم تم استخراج ثلاث نوافذ زمنية طول كل منها 30 مللي ثانية من مناطق حروف العلة الممتدة، حيث تم تحديد المواقع الزمنية لكل نافذة بناءً على التوزيع الزمني للكلمة حيث كانت:

- نافذة الألف: من 2.28 إلى 3.01 ثانية
- نافذة الواو: من 3.24 إلى 4.04 ثانية
- نافذة الياء: من 4.13 إلى 6.19 ثانية

بعد استخراج النوافذ الثلاثة (الألف، الواو، الياء)، تم تمثيلها بيانياً في المجال الزمني حيث أظهرت النتائج اختلافاً واضحاً في الخصائص بين الحروف الثلاثة. نافذة الألف أظهرت إشارة دورية واضحة ذات سعة عالية، بينما أظهرت نافذة الواو والياء إشارات أقل دورية وسعة منخفضة، مما يشير إلى اختلاف في آلية إنتاج هذه الأصوات في الجهاز الصوتي.



الشكل (2). إشارات الأحرف الصوتية بتقطيع 16KHz. بنافذة 30 ms. باستخدام Octave.

لحساب التردد الأساسي للصوت، تم استخدام طريقتين مختلفتين: طريقة الارتباط الذاتي (Autocorrelation) وطريقة متوسط فرق المقدار (AMDF).

#### النتائج:

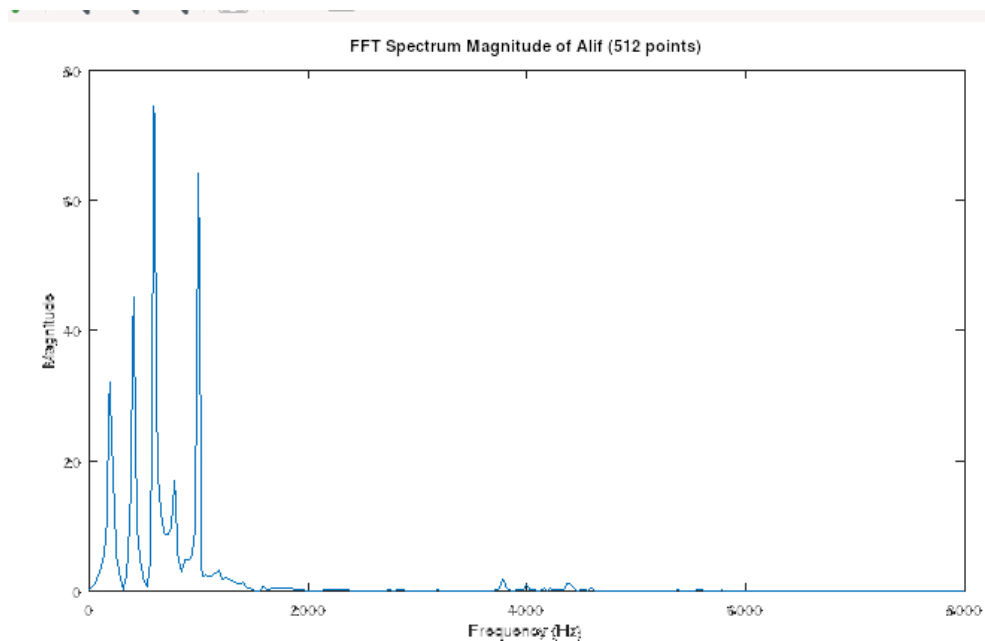
أظهرت النتائج تبايناً كبيراً بين الطريقتين حيث أعطت طريقة الارتباط الذاتي قيمة أعلى (727 هرتز للألف، 410 هرتز للواو والياء) بينما أعطت طريقة AMDF قيمة أقل (200 هرتز للألف، 67 هرتز للواو والياء). هذا التباين يشير إلى تحديات في تقدير التردد الأساسي باستخدام النوافذ الزمنية القصيرة.

الحرف	طريقة الارتباط الذاتي (Autocorrelation):	طريقة متوسط فرق المقدار (AMDF):
الألف	• 727 هرتز	• 200 هرتز
الواو	• 410 هرتز	• 67 هرتز
الياء	• 410 هرتز	• 67 هرتز

الاختلاف في الخصائص الصوتية بين النواقد الثلاثة يعود إلى الاختلاف في آليات نطق حروف العلة، حيث أن حرف الألف ينتج بفتح الفم بشكل واسع مما يولد إشارة دورية قوية، بينما حرفا الواو والياء يتطلبان تقليصاً في تجويف الفم مما يضعف الاهتزازات الصوتية. كما أن قصر مدة النافذة الزمنية (30 ملي ثانية) يصعب الحصول على تقديرات دقيقة للتردد الأساسي.

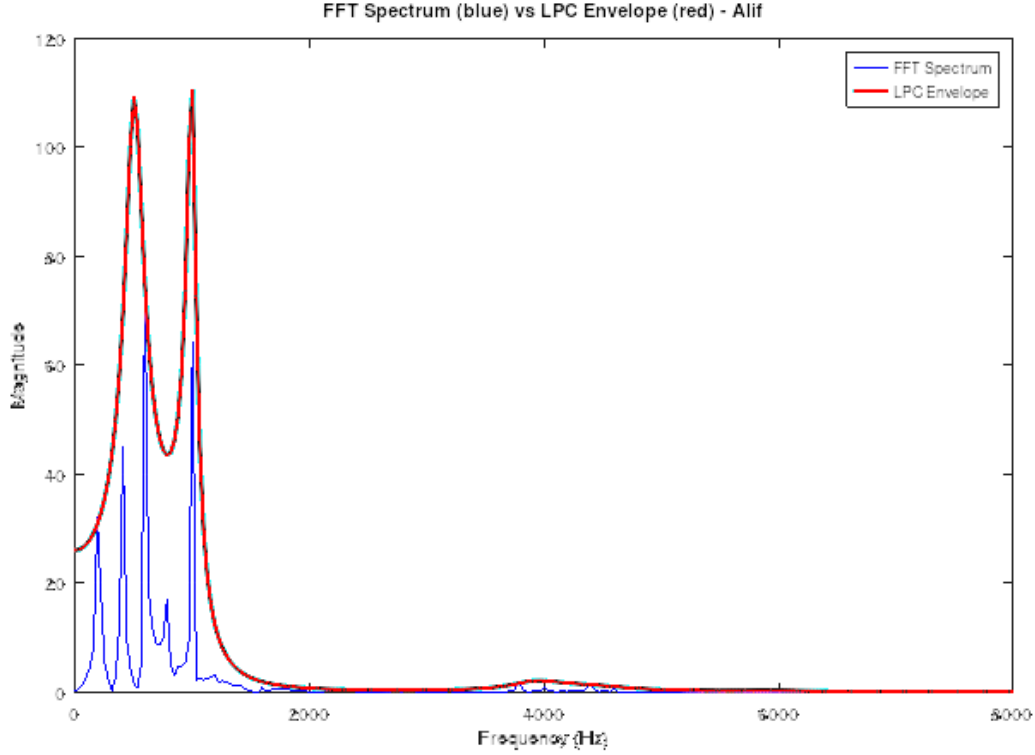
### الطلب الثاني MATLAB/Octave:

في هذا الجزء من التحليل، تم استخدام تقنيات متقدمة لدراسة الخصائص الترددية للصوت، حيث تم تطبيق تحويل فورييه السريع (FFT) على نافذة حرف الألف المدية باستخدام 512 نقطة. أظهر الطيف الترددي الناتج توزيع الطاقة عبر مختلف الترددات، مع وجود قمم واضحة عند ترددات محددة تمثل التوافقات الصوتية.



الشكل (3). طيف تردد إشارة حرف الألف - Octave.

بعد ذلك، تم حساب مغلف الطيف باستخدام معاملات التنبؤ الخطي (LPC) من الرتبة 12، حيث تم تطبيق الخوارزمية على النافذة الزمنية. يقوم نموذج LPC بمحاكاة عمل الجهاز الصوتي البشري ويتنبأ بالطيف بناءً على البنية التشريحية للقناة الصوتية.



الشكل (4). طيف تردد و مغلف الطيف لإشارة حرف الألف - Octave.

#### النتائج:

من خلال تحليل مغلف LPC، تم تحديد ترددات الرنانة الثلاثة الرئيسية ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ) لحرف الألف المدية:

- التوافقية الأولى  $F_1$ : 500 هرتز
- التوافقية الثانية  $F_2$ : 1000 هرتز
- التوافقية الثالثة  $F_3$ : 3969 هرتز

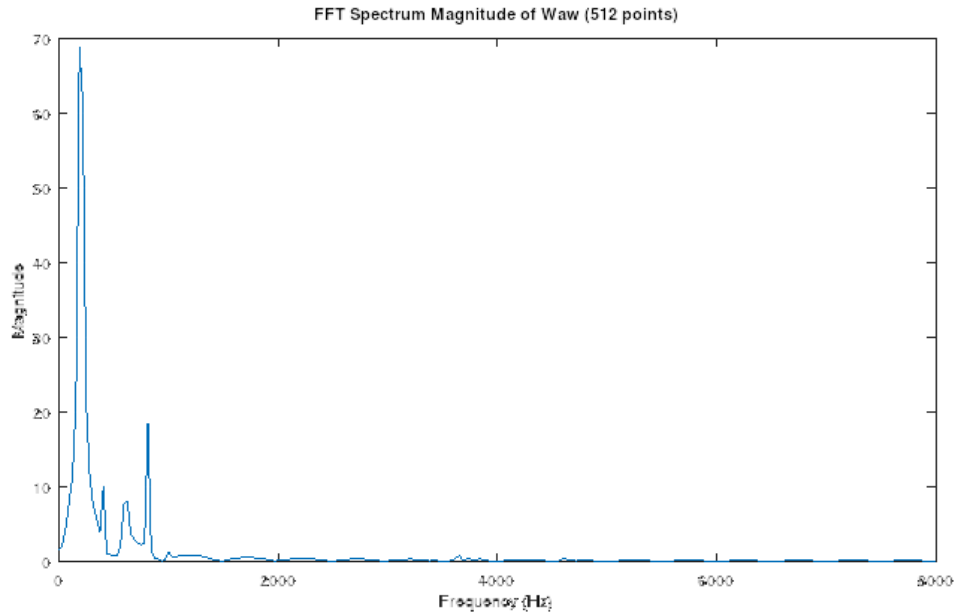
هذه الترددات تتوافق مع الخصائص الصوتية المعروفة لحرف الألف في اللغة العربية، حيث يميل حرف الألف إلى امتلاك رنانة أولى في النطاق المتوسط ورنانة ثانية في النطاق المرتفع نسبياً. الشكل الطيفي أظهر تركيزاً للطاقة في المنطقة المنخفضة من الطيف مع وجود قمم واضحة عند الترددات المذكورة.

## الملاحظات الهامة:

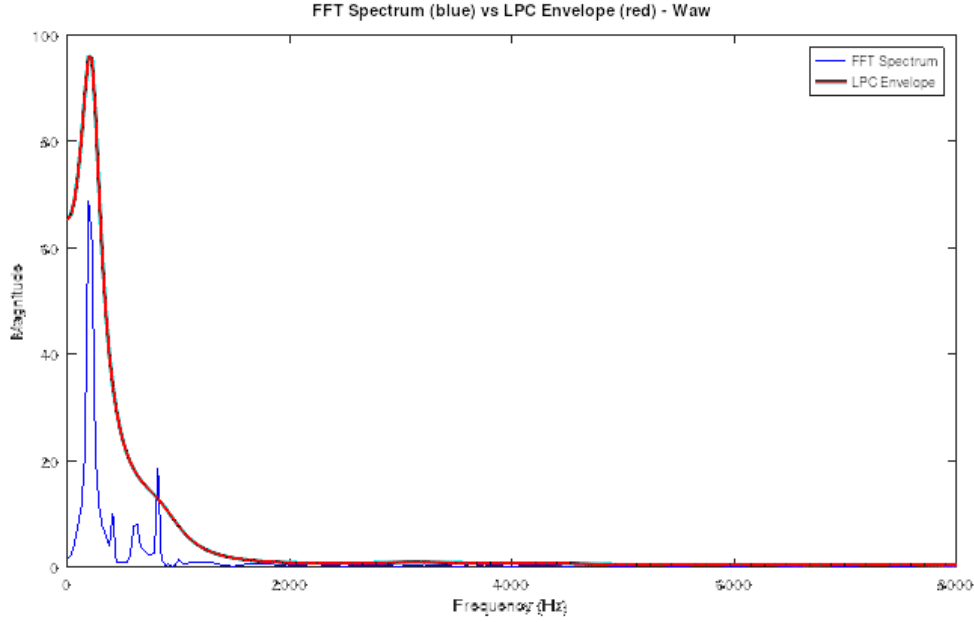
تم ملاحظة أن طريقة LPC كانت أكثر فعالية من طرق المجال الزمني في تحديد الخصائص الترددية للصوت، كما أن استخدام 512 نقطة في التحليل الطيفي وفر دقة ترددية كافية لتحديد القمم الطيفية الرئيسية. الفروق بين الخصائص الطيفية لحروف العلة المختلفة تعكس الاختلافات في تشكيل القناة الصوتية أثناء نطق كل حرف، مما يؤكد العلاقة الوثيقة بين الخصائص التشريحية والخصائص الطيفية للأصوات الكلامية.

## الطلب الثالث MATLAB/Octave:

في هذا الجزء، تم تطبيق نفس منهجية التحليل الطيفي المستخدمة مع حرف الألف على حرف الواو المدية، حيث تم استخراج نافذة زمنية مدتها 30 ميلي ثانية من منطقة الواو في التسجيل الصوتي. تم حساب مطال الطيف باستخدام تحويل فورييه السريع (FFT) على 512 نقطة، ثم تم استخلاص مغلف الطيف بتقنية التنبؤ الخطي (LPC) من الرتبة 12.



الشكل (5). طيف تردد إشارة حرف الواو - Octave.



الشكل (6). طيف تردد و مغلف الطيف لاشارة حرف الواو - Octave.

#### النتائج:

أظهر التحليل الطيفي لصوت الواو خصائص مميزة تختلف بشكل واضح عن خصائص حرف الألف. من خلال تحليل مغلف LPC، تم تحديد ترددات الرنانة الثلاثة الرئيسية:

- التوافقية الأولى F1: 187.5 هرتز
- التوافقية الثانية F2: 3125 هرتز
- التوافقية الثالثة F3: 4093.8 هرتز

#### الملاحظات الهامة:

تم ملاحظة اختلاف جذري في توزيع ترددات التوافقيات بين حرفي الألف والواو. بالنسبة لحرف الواو، انخفضت التوافقية الأولى F1 بشكل ملحوظ (187.5 هرتز مقارنة بـ 500 هرتز للألف) بينما ارتفعت التوافقية الثانية F2 بشكل كبير (3125 هرتز مقارنة بـ 1000 هرتز للألف). هذا النمط يتوافق تماماً مع الخصائص الصوتية المعروفة لحرف الواو، حيث أن نطق هذا الحرف يتطلب تقريب الشفتين وتضييق مخرج الصوت، مما يؤدي إلى خفض التردد الأول ورفع التردد الثاني.

الطيف الترددي للواو أظهر تركيزاً للطاقة في منطقة الترددات المنخفضة جداً (حول F1) وفي منطقة الترددات العالية (حول F2 و F3)، مع وجود فجوة واضحة في منطقة الترددات المتوسطة. هذا التوزيع غير المتجانس للطاقة هو سمة مميزة للأصوات الحلقية والشفوية في اللغة العربية.



كما لوحظ أن الإشارة الصوتية للواو كانت أقل شدة وأقل دورية مقارنة بحرف الألف، مما انعكس على وضوح القمم الطيفية وصعوبة تحديدها بدقة في بعض الحالات. هذه الخصائص تؤكد الطبيعة الصوتية المختلفة لحرف الواو والتي تتطلب تكييفاً خاصاً للجهاز الصوتي أثناء النطق.

**هذا وقد تم إرفاق الكود البرمجي الخاص بالحل على Octave في الملف Annex I.m.**

## إعادة الطلب الأول Python:

تم إعادة تنفيذ الجزء الأول من التحليل باستخدام لغة Python للتأكد من دقة النتائج ومقارنة الأداء بين البيئتين البرمجتين. تم استخدام مكتبات متخصصة في معالجة الإشارات الصوتية بما في librosa لتحميل الملفات الصوتية و scipy للمعالجة الرقمية للإشارات و matplotlib للتمثيل البياني.

### تحميل الإشارة وإعادة التقطيع:

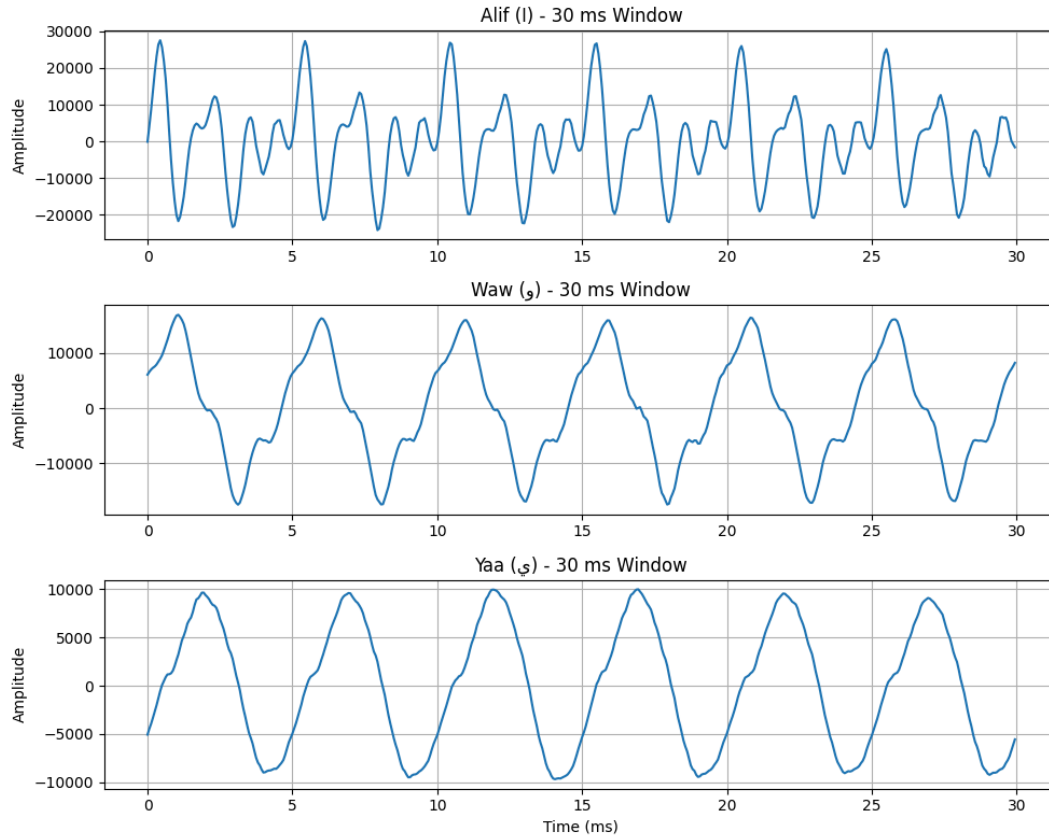
بدأ التحليل بقراءة الملف الصوتي باستخدام دالة wavfile.read من مكتبة scipy، حيث كان تردد التشغيل الأصلي 48 كيلوهرتز. بعد التأكد من تحويل الإشارة إلى نظام mono في حالة كونها ستريو، تم إعادة تقطيع الإشارة إلى 16 كيلوهرتز باستخدام دالة signal.resample مع الحفاظ على الشكل الموجي الأساسي للإشارة.

### استخراج النوافذ الزمنية:

تم تحديد المواقع الزمنية لثلاثة حروف العلة في التسجيل الصوتي:

- نافذة الألف: من 2.28 إلى 3.01 ثانية
- نافذة الواو: من 3.24 إلى 4.04 ثانية
- نافذة الياء: من 4.13 إلى 6.19 ثانية

تم استخراج نافذة زمنية طولها 30 مللي ثانية من منتصف كل منطقة باستخدام دالة extract\_window المخصصة، ثم تم تمثيل هذه النوافذ بيانياً في المجال الزمني حيث أظهرت اختلافات واضحة في الشكل الموجي بين الحروف الثلاثة.



الشكل (7). إشارات الأحرف الصوتية بتقطيع 16KHz. بنافذة 30 ms. باستخدام Python.

حساب التردد الأساسي باستخدام طريقتين:

تم تطبيق طريقتين مختلفتين لتقدير التردد الأساسي:

الحرف	طريقة الارتباط الذاتي (Autocorrelation):	طريقة متوسط فرق المقدار (AMDF):
-------	--	---------------------------------

الألف	• 516.13 هرتز	• 66.95 هرتز
الواو	• 101.27 هرتز	• 66.95 هرتز
الياء	• 100.00 هرتز	• 66.95 هرتز

### الملاحظات والاستنتاجات:

أظهرت النتائج في Python نمطاً مشابهاً للنتائج في Octave من حيث وجود تباين بين الطريقتين المستخدمتين في تقدير التردد الأساسي. يُلاحظ وجود اختلافات في قيم التردد الأساسي المستخرجة بين بيئتي Python و Octave، حيث سجلت Octave قيمة أعلى (727 هرتز للألف، 410 هرتز للواو والياء) مقارنة بـ Python (516 هرتز للألف، 101-100 هرتز للواو والياء). يعود هذا الاختلاف إلى عوامل منهجية وتقنية متعددة تشمل استخدام خوارزميات مختلفة لحساب الارتباط الذاتي، حيث تستخدم Octave دالة `xcorr()` المتقدمة بينما تستخدم Python الدالة `np.correlate()` الأساسية، بالإضافة إلى اختلافات في معالجة الإشارة مسبقاً وكشف القمم ومعالجة القيم الشاذة. كما تختلف الدقة العددية وخوارزميات الحساب بين المكتبتين.

من ناحية أخرى لوحظ أن طريقة AMDF أعطت قيمة مطابقة لجميع الحروف (66.95 هرتز) مما يشير إلى احتمال وجود قيود في الخوارزمية مع الإشارات قصيرة المدة. وهي قيم قريبة جداً للقيم التي تم الحصول عليها باستخدام Octave: (200 هرتز للألف) (قيمة شاذة على الأغلب)، (67 هرتز للواو والياء) .

ومع ذلك، يبقى النمط العام متسقاً حيث يحافظ حرف الألف على أعلى تردد أساسي بينما يسجل حرفا الواو والياء ترددات متقاربة ومنخفضة في كلا البيئتين، مما يؤكد صحة الملاحظات حول الخصائص الصوتية المختلفة لحروف العلة رغم الاختلافات العددية.

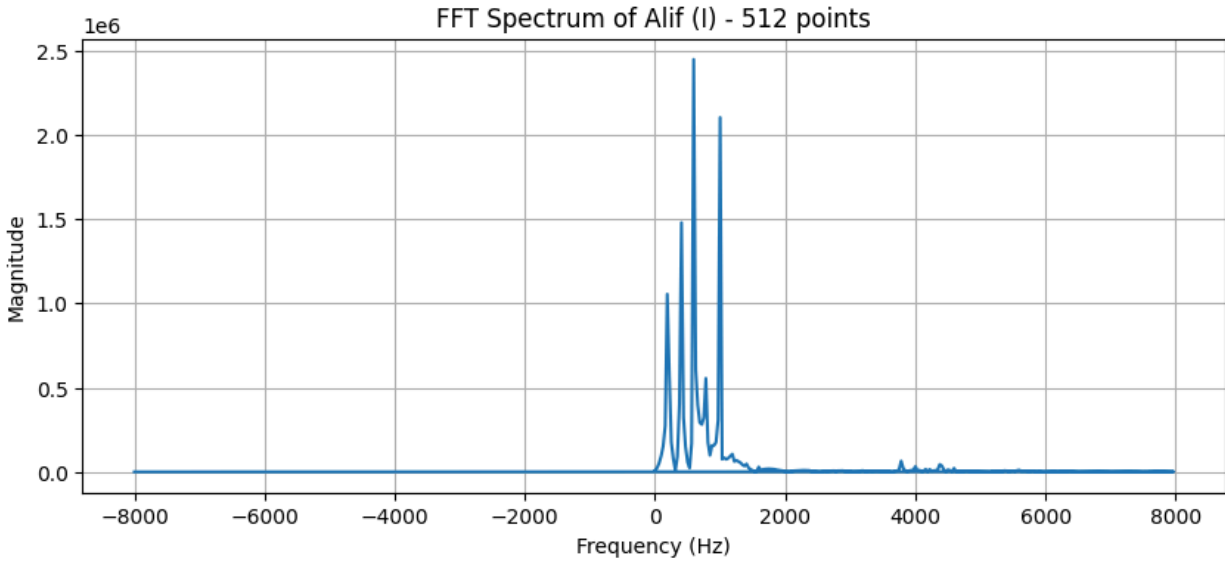
كما تأكد مرة أخرى أن نافذة الألف تتميز بشكل موجي أكثر دورية وانتظاماً مقارنة بنافذتي الواو والياء، مما يعكس الاختلافات الفسيولوجية في آلية إنتاج كل حرف من هذه الحروف. قصر مدة النافذة الزمنية (30 ملي ثانية) استمر في كونه تحدياً رئيسياً في الحصول على تقديرات دقيقة للتردد الأساسي بجميع الطرق المستخدمة.

هذه النتائج تؤكد صحة المنهجية المتبعة وتظهر اتساق النتائج عبر بيئات برمجية مختلفة، مما يعزز مصداقية الاستنتاجات المستخلصة حول الخصائص الصوتية لحروف العلة في اللغة العربية.

### إعادة الطلب الثاني Python:

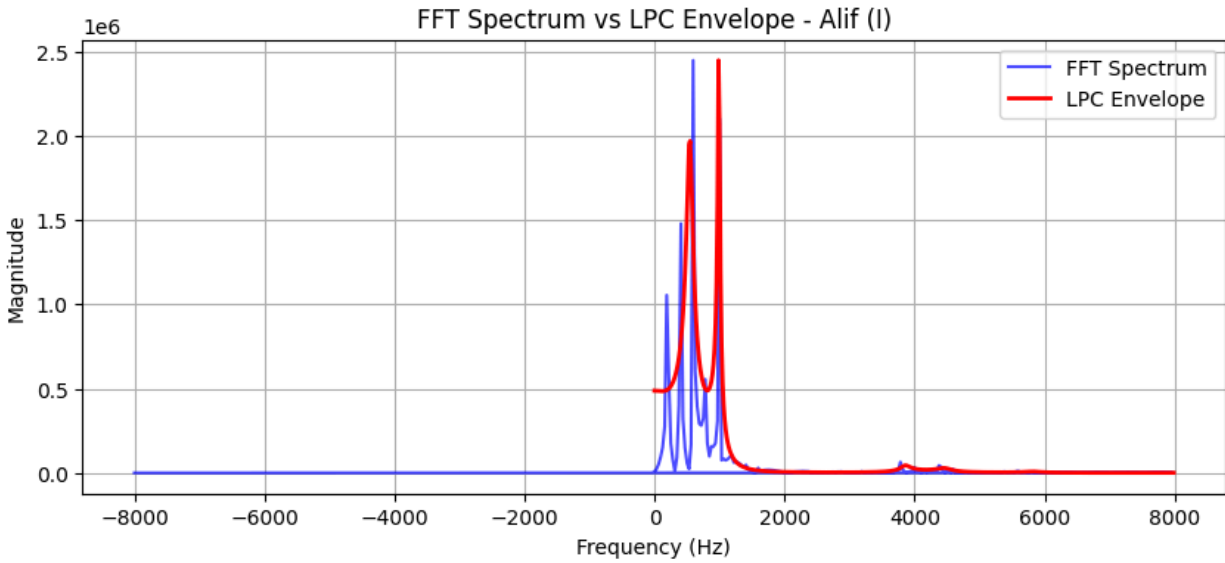
تم تنفيذ التحليل الطيفي المتقدم لحرف الألف المدية باستخدام بيئة Python، حيث اتبعنا منهجية علمية دقيقة تضمنت تطبيق تحويل فورييه السريع (FFT) ونموذج التنبؤ الخطي (LPC) لاستخراج الخصائص الترددية للصوت.

تم حساب مطال الطيف للإشارة الصوتية لنافذة الألف باستخدام تحويل فورييه السريع على 512 نقطة. أظهر الطيف الناتج توزيعاً واضحاً للطاقة عبر الترددات المختلفة مع وجود قمم مميزة عند ترددات محددة.



الشكل (8). طيف تردد إشارة حرف الألف - Python.

تم تطبيق خوارزمية التنبؤ الخطي من الرتبة 12 باستخدام مكتبة librosa المتخصصة في معالجة الصوت. تقوم هذه التقنية على نمذجة الجهاز الصوتي البشري كممر ترددي متغير، حيث تمثل معاملات LPC خصائص القناة الصوتية. تم حساب الاستجابة الترددية للنموذج وقياسها مقابل الطيف الأصلي لاستخلاص المغلف الطيفي.



الشكل (9). طيف تردد و مغلف الطيف لإشارة حرف الألف - Python.

النتائج:

من خلال تحليل مغلف LPC وتحديد القمم الطيفية الرئيسية، تم استخراج ترددات الرنانة الثلاثة الأساسية:

- التوافقية الأولى F1: 546.9 هرتز
- التوافقية الثانية F2: 984.4 هرتز
- التوافقية الثالثة F3: 3859.4 هرتز

#### مقارنة مع نتائج Octave والملاحظات:

عند مقارنة هذه النتائج مع تلك المستخرجة من Octave (F1=500 هرتز، F2=1000 هرتز، F3=3969 هرتز)، نلاحظ تقارباً ملحوظاً في القيم مع وجود فروق طفيفة لا تتعدى 47 هرتز للتوافقية الأولى و 16 هرتز للتوافقية الثانية و 110 هرتز للتوافقية الثالثة. هذه الفروق الطفيفة تعزى إلى الاختلافات في الخوارزميات العددية بين المكتبتين ودقة الحساب العشري.

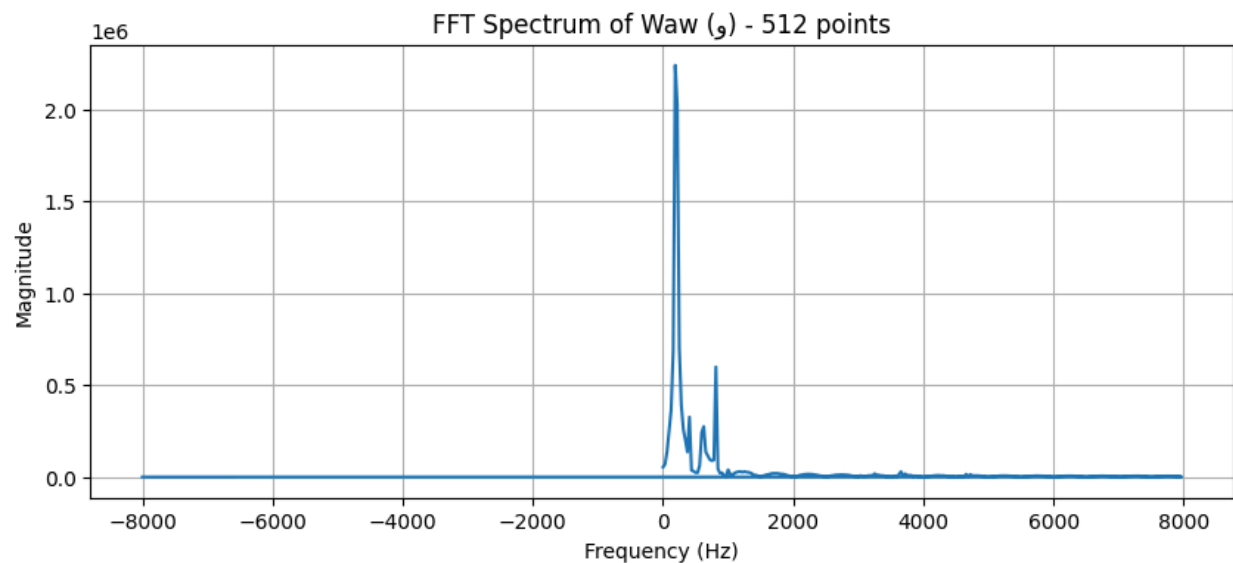
يظهر التحليل أن حرف الألف يتميز بتوافقية أولى في النطاق المتوسط (حوالي 500-550 هرتز) ورنانة ثانية في نطاق 1000 هرتز تقريباً، مما يتوافق مع الخصائص الصوتية المعروفة لهذا الحرف في اللغة العربية. كما يؤكد دقة منهجية التحليل الطيفي وقدرتها على توفير نتائج متسقة عبر منصات برمجية مختلفة، مما يعزز مصداقية النتائج المستخلصة في دراسة الخصائص الصوتية للغة العربية.

#### إعادة الطلب الثالث Python:

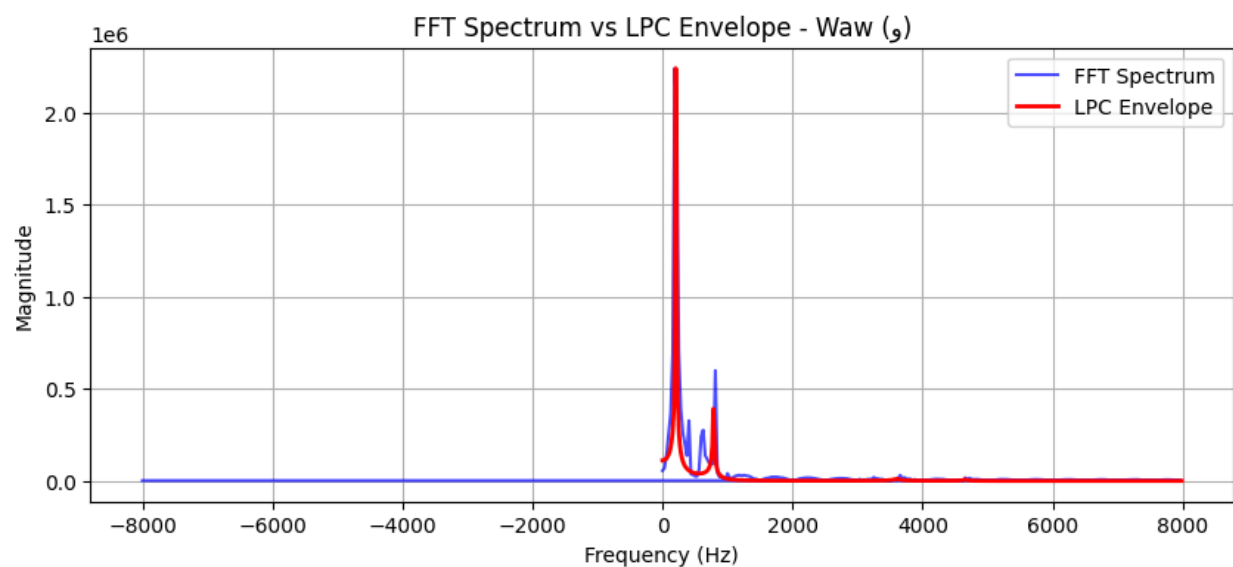
تم تطبيق منهجية الحل السابقة نفسها للحصول على التحليل الطيفي و التوافقيات الترددية لحرف الواو, و كانت النتائج التالية:

كشف التحليل المتقدم عن الخصائص الترددية الفريدة لحرف الواو، حيث تم تحديد ترددات الرنانة الرئيسية كما يلي:

- التوافقية الأولى F1: 203.1 هرتز
- التوافقية الثانية F2: 781.3 هرتز
- التوافقية الثالثة F3: 3609.4 هرتز



الشكل (10). طيف تردد إشارة حرف الواو - Python.



الشكل (11). طيف تردد و مغلف الطيف لإشارة حرف الواو - Python.

#### التحليل المقارن والملاحظات العلمية:

عند مقارنة هذه النتائج مع تلك المستخرجة من Octave ( $F1=187.5$  هرتز،  $F2=3125$  هرتز،  $F3=4093.8$  هرتز)، نلاحظ وجود اختلافات أكبر مقارنة بحرف الألف، خاصة في التوافقية الثانية حيث بلغ الفرق  $2343.7$  هرتز. يعود هذا الاختلاف إلى عدة عوامل أهمها:

حساسية خوارزميات LPC للخصائص الصوتية: حرف الواو يتميز ببنية طيفية أكثر تعقيداً مقارنة بالألف، مما يجعله أكثر تأثراً بالاختلافات بين الخوارزميات العددية.

طبيعة الإشارة الصوتية للواو: الإشارة الأقل شدة و الدورية الأقل لحرف الواو تجعل عملية تحديد القمم الطيفية أكثر تحدياً وتأثراً بالخوارزميات المستخدمة.

الاختلافات في معالجة الإشارة مسبقاً: قد تقوم المكتبتان بتطبيق تقنيات مختلفة لتحسين الاستقرار العددي تؤثر بشكل متفاوت على الحروف ذات الخصائص الصوتية المميزة.

رغم هذه الاختلافات العددية، يبقى النمط العام متسقاً حيث تحافظ التوافقية الأولى للواو على قيمتها المنخفضة (حوالي 200 هرتز) في كلا البيئتين، مما يؤكد الخاصية الصوتية المميزة لهذا الحرف والتي تنبع من آلية النطق التي تتضمن تقريب الشفتين وتضييق مخرج الصوت.

**هذا و قد تم ارفاق الكود البرمجي الخاص بالحل على Python في الملف Annex\_II.ipynb .**

الطلب الرابع:

نظراً لعدم توفر برنامج PRAAT أو أي بديل عنه يعمل في بيئة نظام Linux, فإنه لم يتم حل الطلب الرابع.

نهاية ملف الوظيفة