

# **Evaluation of Concatenated Code Systems For Error Control**

*A Thesis Submitted to Council of Science College  
University of Babylon in Partial Fulfillment of The  
Requirements of The Degree of Master of Science*

*By*

*Dhmyaa Abbas Habeeb Al\_Nasrawy*

*٢٠٠٣ A.D*

*١٤٢٣ A.H*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمَنْ يَتَّقِ اللَّهَ يَجْعَلْ لَهُ مَخْرَجاً  
وَيَرْزُقْهُ مِنْ حَيْثُ لَا يَحْتَسِبُ وَمَنْ  
يَتَوَكَّلْ عَلَى اللَّهِ فَهُوَ حَسْبُهُ إِنَّ اللَّهَ  
بِالْغُلُومِ قَدِيرٌ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمِ

سورة الطلاق (الآية ٢ و ٣)

# المحتويات

<u>رقم الصفحة</u>	<u>العنوان</u> <u>المحتويات</u>
أب	قائمة المصطلحات
ج-و	قائمة المختصرات
ز	<u>الفصل الأول :</u> طرائق الترميز وفك الترميز
١	(١-١) مقدمة عامة
٥	البحوث المنشورة
٧	الهيكل العام للرسالة
٨	(٢-١) أنواع الترميز
٨	(١-٢-١) الترميز المقطعي الخطي
٨	ترميز التكرار
١٠	ترميز فحص التماثل المفرد
١١	ترميز هامنك
١٤	ترميز ريد_مولر
١٥	مصفوفة ريد_مولر
١٨	فك ترميز ريد_مولر
٢٢	الترميز الدوري
٢٢	مقدمة جبرية
٢٥	الحقول الموسعة ومتعددات الحدود الأولية
٢٦	تكوين حقل كالوس
٢٧	وصف الترميز الدوري
٢٨	متعددة الحدود المولدة
٢٨	ترميز BCH
٣٠	ترميز وفك ترميز BCH
٣١	(٢-٢-١) الترميز الالتفافي
٣٨	(٣-١) الترميز الترابطي التقليدي
٤١	(٤-١) الترميز الترابطي المتوازي (ترميز التوربو)
٤٤	(١-٤-١) مرمر التوربو
٤٦	(٢-٤-١) المبعثر
٤٧	انواع المبعثرات
٥١	(٣-٤-١) فاك ترميز التوربو
	<u>الفصل الثاني</u>
٥٧	تصميم النظام المقترح للترميز
٥٧	(١-٢) الهيكل العام للنظام المقترح

٥٨	(١-١-٢) بيانات المصدر
٥٩	(٢-١-٢) عملية الترميز
٧٠	(٣-١-٢) قناة الاتصال
٧٠	(٤-١-٢) عملية فك الترميز
٨٢	(٥-١-٢) البيانات الناتجة

### الفصل الثالث

تقويم طرائق النظام، المناقشة والاستنتاجات والأهداف المستقبلية

٨٤	(١-٣) النتائج العملية
٨٦	(١-١-٣) نتائج الترميز ذو المرحلة الواحدة
١٠٥	(٢-١-٣) نتائج ترميز الترابط التقليدي
١٢٢	(٣-١-٣) نتائج ترميز التوربو
١٢٩	(٢-٣) المناقشة والاستنتاجات
١٣٠	(٣-٣) الأهداف المستقبلية
١٣١	المصادر

## قائمة المصطلحات

المصطلح باللغة الإنكليزية	المصطلح باللغة العربية
Automatic Repeat Request	طلب إعادة الإرسال طوعا
Backward Recursion Metric	مقياس التكرار الخلفي
Berlekamp_Massy Algorithm	خوارزمية بيرلكامب-ماسي
Burst Errors	الأخطاء المحتشدة
Channel	القناة
Channel Capacity	سعة القناة
Channel Decoder	فاك ترميز القناة
Channel Encoder	مرمز القناة
Characteristic Vectors	المتجهات المميزة
Closure	الانغلاق
Code Sequence	متسلسلة الترميز
Code Tree	شجرة الترميز
Codeword	كلمة الترميز
Computer Data	بيانات الحاسوب
Concatenation	ترابط
Conjugate	مقترن
Convolutional Code	الترميز الالتفافي
Current State	الحالة الحالية

Cyclic Code	الترميز الدوري
Data Bits	بتات البيانات
De_modulation	ازالة التضمين
Decoder	فاك الترميز
Delay	التاخير
Digital Source	المصدر الرقمي
Dot Product	الضرب النقطي
Encoder	المرمز
Error Control Coding	الترميز المسيطر على الخطا
Error Location Polynomial	متعددة حدود موقع الخطا
Euclid's Division Algorithm	خوارزمية القسمة الاقليدية
Extrinsic Information	المعلومات الذاتية
Fading Channels	قنوات الخفوت
Finite Filed	الحقل المحدد
Finite State Machine	الآلة محددة الحالة
Foreword Error Correction	تصحيح الخطأ بالاتجاه الأمامي
Foreword Recursion Metric	مقياس التكرار الامامي
Hamming Code	ترميز هامنك
Hard Decision	القرار الحاد
Hardware	المكونات المادية
Hybrid Concatenation	الترابط الهجين
Identity Matrix	مصفوفة الوحدة
Images	الصور
Information Source	مصدر المعلومات
Inner Decoder	فاك الترميز الداخلي
Inner Encoder	المرمز الداخلي
Interleaver	المبعثر
Interleaving	البعثرة
Intrinsic Information	المعلومات الذاتية
Irreducible	غير قابل للاختزال
Iterative	تكرار
Linear Block Code	ترميز مقطعي خطي
Linearity	خطية
Log Likelihood Ratio	لوغاريتم نسبة الارجحية
Majority Logic	منطق الاغلبية
Maximum Likelihood Decoding	فاك ترميز الارجحية العظمى
Maximum Posteriori Probabilities	الاحتمالات السابقة العظمى
Memorials Channel	قناة خالية من الذاكرة
Minimal Polynomial	متعددة الحدود الصغرى
Minimum Distance	المسافة الصغرى
Modulation	تضمين
N – Dimensional Turbo Encoder	مرمز توربو بـ n من الابعاد

Next Decoder	فاك الترميز التالي
Next State	الحالة التالية
Noise	الضوضاء
Non –Recursive Systematic Convolutional	التفافي نظامي غير تكراري
Outer Decoder	فاك ترميز خارجي
Outer Encoder	مرمز خارجي
Parallel Concatenation	ترابط متوازي
Partial Path	المسار الجزئي
Puncturing	حذف
Received Sequence	المتسلسلة المستلمة
Recursive Systematic Convolutional	التفافي نظامي تكراري
Redundancy Bits	بتات الفائضية
Reed_Muller Code	ترميز ريد-مولر
Repetition Code	ترميز التكرار
Satellite Channels	قنوات الاقمار الاصطناعية
Sequential Decoding	فك الترميز التسلسلي
Serial Concatenation	ترابط تسلسلي
Shift Register	مسجل الازاحة
Single Parity Check Code	ترميز فحص التماثل المفرد
Soft Output Decision Algorithms	خوارزميات قرار المخرج المرن
Soft Output Viterbi Algorithm	خوارزمية فيتربي للمخرج المرن
Source Decoder	فاك ترميز المصدر
Source Encoder	مرمز المصدر
Speech	الكلام
Traditional Concatenated Code	ترميز ترابطي تقليدي
Trellis Diagram	مخطط شبكي
Trellises Terminations	الانتهاء الشبكي
Turbo Code	ترميز التوربو
Viterbi Decoding	فك ترميز فيتربي
Voice	صوت
Woven Convolutional Code	ترميز التفافي نسيجي
XOR	الخيار المقصور

## قائمة المختصرات

المختصر باللغة إنكليزية	المصطلح باللغة الإنكليزية
ARQ	Automatic Repeat Request
BCH	Bose Chaudhuri Hocqengham
FEC	Foreword Error Correction
GCD	Greatest Common Division
GF	Galos Field
ISI	Inter Symbol Interference
LCM	Least Common Multiple
LLR	Log Likelihood Ratio
MAP	Maximum A posteriori Probabilities
MLD	Maximum Likelihood Decoding
NSC	Non –Recursive Systematic Convolutional
RM	Reed – Muller
RS	Reed – Solomon
RSC	Recursive Systematic Convolutional
SISO	Soft In Soft Out
SPC	Single Parity Check

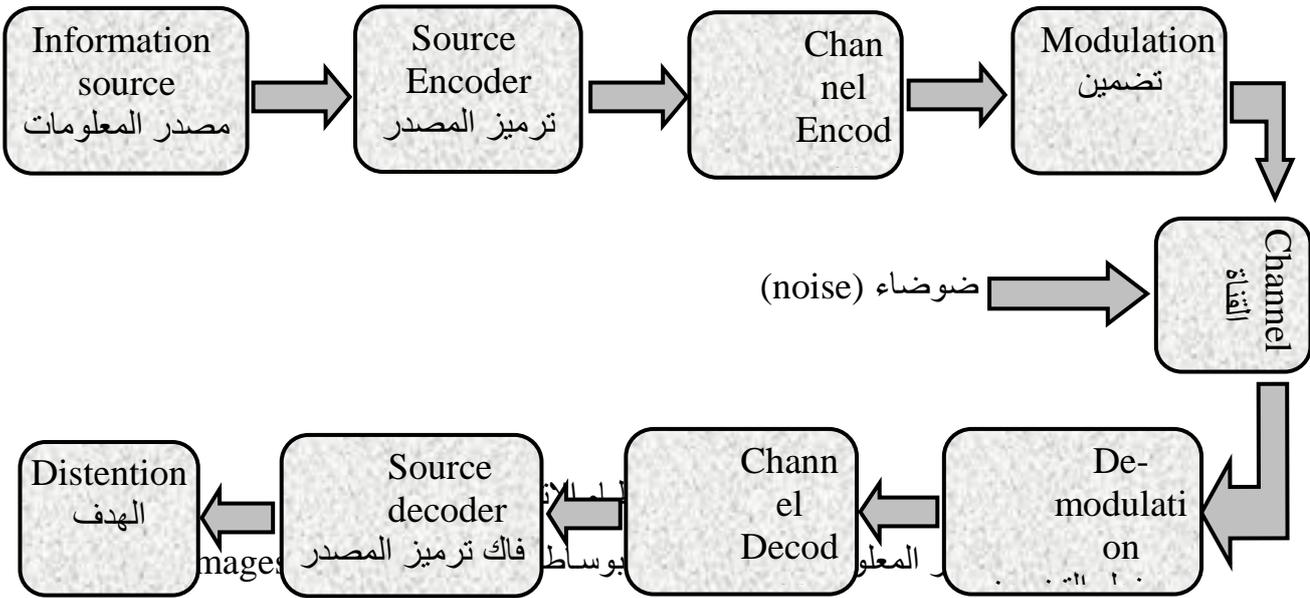


## الفصل الأول

### طرائق الترميز وفك الترميز

#### (١-١) مقدمة عامة:

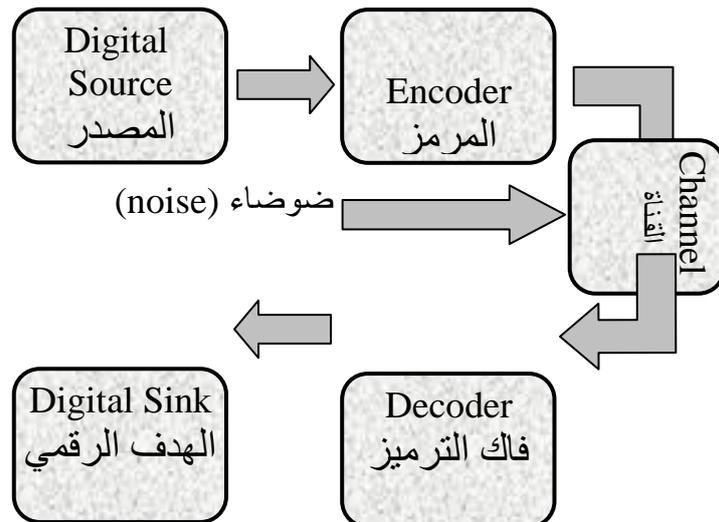
يتميز نظام الاتصال الرقمي عن الأنظمة الأخرى، بإمكانية السيطرة على الأخطاء (اكتشافها وتصحيحها) التي تتعرض لها القناة أثناء نقل المعلومات. يمكن تمثيل نظام الاتصال الرقمي كما هو موضح في الشكل (١-١) [٨]:



الحاسوب (Computer Data، ... الخ) أو بواسطة الإنسان (الكلام Speech).

تتركز مهمة تصميم نظام الاتصال في تجهيز نظام كفوء وقليل الكلفة لنقل المعلومات من المرسل إلى المستلم وبالمعدل والدقة المطلوبتين. ولأجل ذلك يتم إضافة بتات إلى بتات المعلومات المنقولة وهذا يدعى بـ (( الترميز المسيطر على الخطا

Error Control Coding )) والشكل (٢-١) يوضح هذا المفهوم [٨].





(( لأي سعة قناة  $C$  خالية من الذاكرة (Memorials Channel) فان احتمالية الخطا تقل لأي معدل ترميز  $R$  اقل من  $C$  وباستخدام ترميز وفك ترميز مناسب)).

وافترض خوارزمية فك ترميز الأرجحية العظمى (Maximum Likelihood

(MLD) Decoding حيث ان احتمالية الخطا تتناقص أسياً مع طول المقطع. ولكن ذلك يؤدي إلى أن يكون عدد الكلمات المرزمة كبير :  $2^{nR} = 2^k$  ، حيث ان :  $n$  هو طول كلمة الترميز ،  $R$  هو معدل الترميز ،  $k$  هو طول كلمة البيانات ، إذن عدد الحسابات لمطلوب إنجازها يكون كبير جداً، وهذا يؤدي إلى تعقيد كبير في عملية فك الترميز.

ان ذلك يقود إلى البحث عن طرائق جديدة في الترميز و فك الترميز، واقتراح بناء ترميز طويل من ترميزات قصيرة يمكن فكها بسهولة [١١][٨].

يعد الترابط Concatenation حلاً مناسباً و وسيلة فعّالة للحصول على ذلك، حيث يتم تجزئة الترميز إلى ترميزات قصيرة، ويفك ترميز كل نوع بسهولة وبصورة منفصلة [٩].

المبدأ الأساس للترابط هو تغذية المخرجات لرمز واحد يدعى المرمز الخارجي Outer Encoder إلى رمز آخر يدعى المرمز الداخلي Inner Encoder، أما عملية فك الترميز فتتم بصورة عكسية ابتداءً من الترميز الداخلي وانتهاءً بالترميز الخارجي [١١].

يمكن تحسين أداء فك الترميز بإضافة ما يسمى بالبعثرة (Interleaving) الذي يشمل توزيع الأخطاء وبعثرتها للتخلص من الأخطاء المحتشدة (Burst Error) في الكلمة المرزمة الواحدة [١][٨].

بصورة عامة ، هناك ثلاثة أنواع من هياكل الترابط :

١. الترابط التسلسلي (Serial Concatenation).
  ٢. الترابط المتوازي (Parallel Concatenation).
  ٣. الترابط الهجين (Hybrid Concatenation).
- وقد يكون ترابط مقطعي او ترابط التفاضلي .

## البحوث المنشورة Literature Survey :

توجد العديد من البحوث المنشورة حول هذا الموضوع ، فقد اقترح نظام الترابط لأول مرة من قبل Forney عام ١٩٦٦ حيث استخدم اثنين او اكثر من الترميزات المقطعية بترابط تسلسلي باستخدام ابجدية مختلفة للحصول على معدل خطأ واطى [١].

وفي العام نفسه اقترح Falcore طريقة للترابط التسلسلي باستخدام ترميز مقطعي كترميز خارجي وترميز التفافي كترميز داخلي وكلاهما استخدمتا خوارزمية فك الترميز التسلسلية Sequential Decoding لفك الترميز الداخلي .

وفي عام ١٩٧٠ استخدم Odenwalder نفس الترابط المستخدم من قبل Falcore ولكن باستخدام خوارزمية فك ترميز فيتربي Viterbi Decoding للترميز الداخلي .  
اقترحت طريقة للترابط التسلسلي باستخدام ترميز Reed-Solomon كترميز خارجي مع ترميز التفافي داخلي من قبل L.N.Lee عام ١٩٧٣ حيث استخدم مبدأ وحدة الذاكرة الموجهة بحجم بايت واحد [٤] .

في عام ١٩٨٦ اقترح Kasimi ومجموعة من الباحثين طريقة للترابط التسلسلي حيث استخدم مرمزين مقطعيين خارجي و داخلي ، واستخدم المرمز الداخلي لتصحيح واكتشاف الخطأ ، اذ يقوم المرمز الداخلي بطلب اعادة الارسال اذا فشل فك الترميز الداخلي في عملية فك الترميز او في حالة فشل فك الترميز الخارجي في اكتشاف الخطأ [٩] .

واقترح ترميز ترابطي تسلسلي لقنوات الأقمار الاصطناعية Satellite Channel باستخدام ترميز خارجي RS وترميز داخلي BCH عام ١٩٨٧ من قبل Hershey ومجموعة من الباحثين [١٠] .

في عام ١٩٨٨ استخدم Herro وعدد من الباحثين ترميزا ترابطيا تسلسليا لترميزين مقطعيين ، وتم حساب معدل الاقتراع الكلي وسعة القناة لهذا النوع من الترابط [١١] .  
أما Justesen ومجموعة من الباحثين ، فقد استخدموا ترابطا تسلسليا لاثنتين من المرمزات هما RS كترميز خارجي والترميز الالتفافي كترميز داخلي عام ١٩٨٨ ، وتم في هذا البحث دراسة المسافة الصغرى Minimum Distance للترميز الترابطي ككل [١٢] .

وفي عام ١٩٩٣ قام Vucetic بالعمل على ترميز ترابطي تسلسلي مستخدما فيه ترميز داخلي شبكي Trellis Inner مع ترميز خارجي هو RS في قنوات الاتصال ذات الخفوت Fading Channels [١٤] .

أما البحوث السابقة عن الترميز الترابطي المتوازي أو ما يسمى بـ (ترميز التوربو Turbo code) فقد اقترح لأول مرة عام ١٩٩٣ من قبل Berrou ومجموعة من الباحثين ، حيث استخدم ترابط لاثنتين من المرمزات الالتفافية التكرارية RSC ، وخوارزمية فيتربي للمخرج المرن Soft Output Viterbi Algorithm [١٥] .

تم دراسة توزيع الوزن لترميز هيكل الترابط المتوازي باستخدام مبعثرات عشوائية وغير عشوائية من قبل S.Dolinar و D.Divsalar عام ١٩٩٥ [١٩] .

وفي عام ١٩٩٦ اقترح Barbulescu تقنيات فك ترميز متكرر طبقت على عدد من طرائق الترابط بحيث ان كل ترميز يفك بطريقة منفصلة عن الترميز الآخر [٢٢] .  
وفي عام ١٩٩٧ قدم Fun -hua-hung بحثا عن تقويم أداء فك ترميز المخرج المرن لترميز التوربو باستخدام خوارزمية فيتربي للمخرج المرن Soft Output Viterbi Algorithm .

وفي عام ١٩٩٨ قدم S.Crozier بحثا عن أنواع الانتهاء الشبكي trellises termination وتأثيره على أداء ترميز التوربو [٢٨].

وقدم O.Y.Takeshita محددات لتصميم المبعثر لترميز التوربو ، واوضح بان هذه المحددات تنتج ترميز بأداء مساو أو افضل من معدل أداء الترميز باستخدام مبعثرات يتم اختيارها عشوائيا [٣٠].

أما فيما يخص البحوث في جامعات القطر ، فقد استخدمت طريقة للترميز بثلاث مراحل من قبل الباحثة (وفاء هادي) عام ٢٠٠٠ ، وطبقت هذه الطريقة في قناة ISI [٢٩].  
أما ترميز التوربو فقد تم توضيح أدائه والخوارزميات المستخدمة لفك الترميز من قبل الباحث (حيدر هادي) عام ٢٠٠١ [٣٢] .

تهدف الأطروحة إلى تقويم واختبار أداء أنواع الترميز لمرحلة واحدة باستخدام الترميزات الآتية :

١ - ترميز التكرار Repetition Code .

٢- ترميز فحص التماثل المفرد Single Party Check Code .

٣-ترميز هامينك Hamming Code .

٤- ترميز ريد-مولر Reed-Muller Code .

٥ - ترميز BCH Code .

٦- الترميز الالتفافي Convolutional Code .

ومقارنتها مع نوعين من الترابط :

١- الترميز الترابطي التقليدي Traditional Concatenated Code .

٢- الترميز الترابطي المتوازي (ترميز التوربو Turbo Code) .

باستخدام مصدر بيانات عبارة عن جملة انكليزية ، يتم تحويلها إلى بيانات ثنائية

( ٠ ، ١ ) ، ومن ثم اختبار أنواع الترميز سالفة الذكر .

## الهيكل العام للرسالة Structure of Thesis:

يتكون الهيكل العام للرسالة من ثلاثة فصول ، تناول الفصل الأول عرضا لاهم أنواع الترميز المقطعي والالتفافي ، واختبار الأنواع المذكورة آنفا للمرحلة الواحدة ، و شرح وتوضيح عملية الترميز وفك الترميز لكل نوع ثم يلي ذلك التطرق إلى طرائق الترابط المستخدمة في البحث (التقليدي ، المتوازي ) ، ثم شرح مبسط لعمل المبعثر Interleaver وفائدته و أنواعه ، كما تم شرح خوارزمية فك ترميز التوربو واهم المعادلات المستخدمة فيها .

أما الفصل الثاني فتناول تصميم منظومة الترميز المقترحة والهيكل العام لها ، حيث يتم اختيار نوع الترميز ( أما ذو مرحلة واحدة أو ترابطي ) ، وهذا الأخير بدوره يتم اختيار هيكل الترابط المستخدم (أما تقليدي أو توربو ) .

أما الفصل الأخير فتناول عرضا لاهم النتائج العملية التي تم الحصول عليها من تطبيق هذه المنظومة .

### (٢-١) انواع الترميز Type of Codes:

ان مهمة تصميم ترابط لمرمزين يتطلب المعرفة بنوعين رئيسيين من الترميز هما، الترميز المقطعي والالتفافي . يوضح الشكل (٤-١) أنواع الترميز المستخدمة في البحث والتي سيتم تسليط الضوء على أهم المميزات التي يمتاز بها كل من نوعي الترميز أعلاه في الفقرة الآتية :

#### (١-٢-١) الترميز المقطعي الخطي Linear Block Codes :

يعد الترميز المقطعي من اكثر الأنواع استخداما في التطبيق العملي، ويتميز بصفة رئيسية وهي ان حاصل جمع أي كلمتين مرمزتين للمعيار ٢ تنتج كلمة مرمزة ثالثة، وتسمى هذه الصفة بالانغلاق Closure . وفي ما يأتي أنواع الترميز المقطعي المستخدمة :

#### ترميز التكرار Repetition Codes

وهو ابسط أنواع الترميز المقطعي، يسمح بإضافة كمية من بتات فحص التماثل إلى بت بيانات واحدة وبذلك ترمز إلى مقطع من n من البتات وتنتج ترميز ( n, ١) .

هناك فقط كلمتين مرمزتين في هذا النوع وهما :

$$\begin{matrix} 000\dots0 \\ 111\dots1 \end{matrix}$$

مثلا إذا كان  $k=1$  و  $n=5$  إذن في هذه الحالة لدينا اربعة بتات لفحص التماثل،

$$G = [1\ 1\ 1\ 1\ 1]$$

ومنقول المصفوفة  $p$  اي  $pT$  هو متجة يتكون من  $1 \times 4$  اما مصفوفة الوحدة Identity Matrix فهي  $4 \times 4$ ، اذن مصفوفة فحص التماثل :

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

فإذا كانت  $m$  هي بت البيانات إذن عملية الترميز تتم كالاتي :

$$X = m G \quad \dots (2-1)$$

حيث ان  $X$  هي كلمة الترميز الناتجة ،  $G$  مصفوفة الترميز .

وتستخدم المصفوفة  $H$  في فك ترميز الكلمة المرمزة وتعد البت الأصلية صفرا إذا كانت

أغلبية الرموز المستلمة هي  $0$  وإلا فهي  $1$  . إذن يملك هذا النوع من الترميز المواصفات الآتية:

- معدل الترميز  $R = 1/n$

- المسافة الصغرى  $d_{\min} = n$

- قابلية تصحيح الخطأ  $t = \lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor$  خذها كبيرة إذا كانت احتمالية الخطأ في الرموز قليلة.  
أما مساوئه فإنه ينقل عددا كبيرا من الرموز الفائضة، وهذا يؤثر في معدل الترميز.

### ترميز فحص التماثل المفرد Single Party Check Code :

هو ترميز ب  $(n, n-1)$  حيث ان بت واحدة تضاف إلى مقطع من  $n-1$  من بتات البيانات لكي تجعل الرقم الكلي للوحدات في الكلمة المرزمة التي طولها  $n$  زوجيا.  
فإذا كانت بتات البيانات:

$$i_1, i_2, \dots, i_k$$

إذن الكلمة المرزمة الناتجة

$$i_1 i_2 \dots i_k P_1$$

حيث ان

$$(i_1 + i_2 + \dots + i_k + P_1) \bmod 2 = 0 \quad \dots (3-1)$$

حيث ان  $P_1$  هو بت فحص التماثل الذي تم إضافته بحيث يصبح عدد الوحدات في الكلمة المرزمة زوجيا .

أما السندروم (الذي يستخدم لاكتشاف الخطأ) فيتم حسابه بالعلاقة الآتية:

$$s = r_1 + r_2 + \dots + r_n \bmod 2 \quad \dots (4-1)$$

حيث ان  $r_1, r_2, \dots, r_n$  هي بتات كلمة الترميز .

فإذا كانت  $s=0$ ، فهذا يعني ان الكلمة المستلمة هي كلمة مرزمة ولا تحوي على أية أخطاء ، عندها يتم حذف البت الأخير (بت فحص التماثل) لتبقى بتات البيانات  $n-1$ . أما إذا كانت  $s=1$  فهذا يعني وجود خطأ أثناء النقل.

المحاسن/ تستطيع حساب بت الفحص بدون خزن إضافي، وبدون تأخير.

المساوئ/ يمكنه اكتشاف الأعداد الفردية للأخطاء ولكنه لا يكتشف الأعداد الزوجية إذ أن قيمة السندروم في هذه الحالة تبقى صفرا وبذلك لا يمكنه اكتشاف الخطأ.

### ترميز هامنك Hamming Codes :

هناك ترميز ثنائي خطي له القابلية على تصحيح كل نماذج الخطأ التي لا تحوي على أكثر

من خطأ واحد، هو ترميز هامينك [٨]..

قدم ترميز هامنك لأول مرة عام ١٩٥٠، وشاع استخدامه في أنظمة الاتصالات الرقمية وأنظمة خزن البيانات.

لأي قيمة  $r$  يوجد ترميز هامنك ثنائي بالمواصفات الآتية:

- عدد أرقام فحص التماثل  $r$

- طول الكلمة المرزمة  $n = 2^r - 1$

- عدد أرقام المعلومات  $r - 1 - r = 2^r - 1 - k$

- قابلية تصحيح الخطأ  $t = 1$

- المسافة الصغرى  $d_{\min} = 3$

ولتكوين الكلمة المرزمة بترميز هامنك، يتم أولاً تحديد العدد المطلوب من بتات فحص

التمائل بتطبيق الشرط الآتي [٢٦]:

$$2^r \geq k + r + 1 \quad \dots \quad (٥-١)$$

ويتم حشر هذه البتات في المواقع التي تكون قوى لـ ٢ أي:

$$2^0, 2^1, 2^2, \dots$$

وبذلك فإنها تحشر في المواقع  $1, 2, 4, \dots$

مثال (١): لترميز الرسالة الآتية  $٠١١٠٠١$

أولاً: تحديد عدد بتات فحص التماثل الواجب إضافتها والتي تحقق الشرط أعلاه، إذا كان

عدد بتات الرسالة  $k = 6$

$$2^4 \geq 6 + 4 + 1$$

$$16 \geq 11$$

أذن عدد بتات فحص التماثل التي تحقق الشرط هي ٤، وبذلك تكون الكلمة

المرزمة بالهيئة الآتية (من اليمين إلى اليسار):

$$\begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \\ P_1 & P_2 & 1 & P_3 & 0 & 0 & 1 & P_4 & 1 & 0 \end{array}$$

ثانياً: إيجاد قيم بتات فحص التماثل، ويتم ذلك بكتابة التمثيل الثنائي لموقع بتات البيانات

بقية ١ وبعد ذلك نحسب عملية الخيار المقصور (XOR) للمواقع كلها وبذلك نحصل على بتات

بعدد  $r$  تمثل بتات فحص التماثل ويتم حشرها في المواقع المحددة لها.

وفي مثالنا نأخذ المواقع التي تكون فيها قيمة البت ١

الموقع	التمثيل الثنائي
٣	٠٠١١
٧	٠١١١
٩	١٠٠١

XOR	
١	١

وهذه تمثل قيم بتات فحص التماثل ، أذن الكلمة المرزمة التي يتم إرسالها هي:

٠ ١ ١ ١ ٠ ٠ ١ ١ ٠ ١

أما بالنسبة إلى فك الترميز من جهة المستلم أيضا كل موقع له قيمة ١ يتم تمثيله ثنائيا وإيجاد حاصل أُل XOR له، فإذا كان الناتج كله أصفارا (الذي يمثل متجه السندروم) فهذا يعني انه لا يوجد خطأ. أما إذا كان الناتج غير صفريا فانه يمثل التمثيل الثنائي لموقع الخطأ.

**مثال (٢) :** إذا كانت الكلمة المستلمة هي :

٠ ١ ٠ ١ ٠ ٠ ١ ١ ٠ ١

والتي تحوي خطأ واحدا . نقوم أولا بإيجاد التمثيل الثنائي للمواقع التي تكون فيها قيمة البت

مساوية لـ ١ ثم إجراء عملية أُل XOR لها . إذن المواقع التي قيمها ١ هي :

الموقع	التمثيل الثنائي
١	٠٠٠١
٣	٠٠١١
٤	٠١٠٠
٧	٠١١١
٩	١٠٠١

XOR

.

والناتج هو التمثيل الثنائي للعدد ٨ ، إذن موقع الخطأ في البت رقم ٨ ، وبذلك يتم تصحيحه

وتحويله من ٠ إلى ١ ، إذن الكلمة المرزمة الأصلية بعد تصحيح الخطأ هي :

٠ ١ ١ ١ ٠ ٠ ١ ١ ٠ ١

إذا ترميز هامتك له القابلية على تصحيح خطأ واحد فقط، ولا يمكنه اكتشاف أو تصحيح أي نموذج بوزن اكبر أو مساو لـ ٢ .

### ترميز ريد-مولر Reed-Muller Codes :

يعد ترميز ريد-مولر من التقنيات المهمة في تصحيح الخطأ . اقترح هذا النوع لأول مرة من قبل D. E Muller عام ١٩٥٤ . أما خوارزمية فك الترميز فاقترحها S. Reed التي تستخدم منطق الأغلبية Majority Logic [٧].  
لأي عدد صحيح  $m, r$  حيث ان  $(0 \leq r \leq m)$  هناك ترميز يدعى Reed – Muller بالمواصفات الآتية:

- رتبة الترميز  $r$

- طول الكلمة المرزمة  $n = 2^m$

- رموز المعلومات  $k = 1 + \binom{m}{1} + \dots + \binom{m}{m-r}$

- المسافة الصغرى  $d_{\min} = 2^{m-r}$

- قابلية تصحيح الخطأ  $t = \left\lfloor \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{2^{m-r} - 1}{2} \right\rfloor$

ويشار إليه بترميز  $(r, m)$  أو للاختصار ترميز  $R-M$ .

يوضح الجدول (١-١) معالم هذا الترميز ولقيم  $m \leq 6$

m	Order (r)	n	d	k	t
٣	٠	٨	٨	١	٣
	١	٨	٤	٤	١
	٢	٨	٢	٧	٠
٤	٠	١٦	١٦	١	٧
	١	١٦	٨	٥	٣
	٢	١٦	٤	١١	١
٥	٠	٣٢	٣٢	١	١٥

	١	٣٢	١٦	٦	٧
	٢	٣٢	٨	١٦	٣
٦	٠	٦٤	٦٤	١	٣١
	١	٦٤	٣٢	٧	١٥
	٢	٦٤	١٦	٢٢	٧

جدول رقم (١-١) يوضح المعالم الخاصة بترميز ريد- مولر لـ  $m \leq 6$

### مصفوفة ترميز ريد- مولر Reed– Muler Code And Encoding Matrices

يتكون ترميز ريد- مولر  $R(r, m)$  ذا الرتبة  $r$  من مجموعة من كل الرموز الثنائية (المتجهات) بطول  $n = 2^m$  المطابقة متعددات الحدود البوليانية  $p(x_1, x_2, \dots, x_m)$  بدرجة  $r$ . يتكون ترميز ريد- مولر بالرتبة الصفرية Order  $0^{\text{th}}$ ،  $R(0, m)$  من رموز ثنائية  $0$  و  $1$  حيث ان :

$$R(0, m) = \{0, 1\} = \text{Rep}(2^m) \quad \dots (6-1)$$

أي ان  $R(0, m)$  هو تكرار لعدد من الأصفار او الواحدات بطول  $2^m$ .

ولتعريف مصفوفة الترميز لـ  $R(r, m)$ ، ليكن الصف الأول من المصفوفة مساويا لـ  $1$  وبطول  $2^m$ ، إذا كان  $r$  مساويا لـ  $0$ ، إذن فان هذا الصف يتكون فقط من الواحدات في مصفوفة الترميز. أما إذا كان  $r$  مساويا لـ  $1$ ، عندها يضاف  $m$  من الصفوف المطابقة للمتجهات  $x_1, x_2, \dots, x_m$  لمصفوفة الترميز  $R(0, m)$  [١٩].

ولتكوين مصفوفة الترميز  $R(r, m)$  حيث ان  $r$  اكبر من  $1$ ، يتم إضافة

من الصفوف إلى مصفوفة الترميز  $R(r-1, m)$ ،

مثلا عندما  $m=3$  و  $r=1$ ، تكون المصفوفة كالاتي :

$$\begin{pmatrix} m \\ r \end{pmatrix}$$

$$R(1, 3) =$$

$$\begin{matrix} 1 \\ x \\ x \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

لاتية التي تمثل حاصل

ولتكوين مصفوفة بـ  $R(2, m)$  أي برتبة  $r=2$  يتم إضافة الصف

ضرب كل صف ببقية الصفوف :

$$x_1 x_2 = 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0$$

$$x_1 x_3 = 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0$$

$$x_2 x_3 = 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0$$

وبذلك تكون المصفوفة الناتجة كالآتي :

$$R(2, 3) = \begin{matrix} 1 \\ x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ x^1 x^2 \\ x^1 x^3 \\ x^2 x^3 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_2 & x_3 = 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

أما المصفوفة برتبة  $r=3$  فيتم ضرب الصفوف  $X^1, X^2, X^3$  سوياً ليـ  
المصفوفة  $R(2, 3)$  :  
اتج إلى

وبذلك تكون المصفوفة الناتجة  $R(3, 3)$  هي :

$$R(3, 3) = \begin{matrix} 1 \\ x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ x^1 x^2 \\ x^1 x^3 \\ x^2 x^3 \\ x^1 x^2 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

إذن تتكون المصفوفة من  $k$  من الصفوف و  $n$  من الأعمدة، وحيث أن  
... (٧-١)

وبذلك تكون الرسالة Message بطول  $k$ .  
تكن  $m = (m_1, m_2, \dots, m_k)$  هي بتات الرسالة، عندها تكون الرسالة المرشدة  $M_c$  هي

$$M_c = \sum_{i=1}^k m_i R_i \quad \dots (٨-١)$$

حيث أن  $R_i$  هو صف في المصفوفة  $R(r, m)$ .

مثال (٣) : لترميز الرسالة الآتية:

$$m = (0 \ 1 \ 1 \ 0)$$

باستخدام  $R(1, 3)$ ، نحصل على :

$$\begin{array}{r}
 .*(11111111) \\
 1*(11110000) \\
 1*(11001100) \\
 .*(10101010) \\
 \hline
 (00111100)
 \end{array}
 \oplus$$

حيث يتم استخدام الضرب النقطي Dot Product لكل بت من بتات الرسالة مع كل صف في المصفوفة ، ثم جمع الناتج للمعيار ٢ .

### فك ترميز Reed– Muller (R- M)

تتميز طريقة فك ترميز R- M بأنها أكثر تعقيدا من عملية الترميز, حيث يتم فحص كل صف بمصفوفة الترميز وباستخدام منطق الأغلبية Majority Logic لتحديد فيما إذا كان هذا الصف مستخدما لتكوين كلمة الترميز أم لا. وبهذا يمكن معرفة متجه الخطأ وكلمة البيانات الأصلية.

تعتمد الخوارزمية على إيجاد المتجهات المميزة Characteristic Vectors لكل صف ، حيث سيتم معرفة كيفية إيجادها بمثال بسيط لفك الترميز [٣] .

توضح الخوارزمية (١-١) الاجراء الخاص بفك ترميز ريد\_مولر ، حيث تطبق الخطوة ٢ و ٣ لكل صف في المصفوفة ابتداء من الأسفل وصعودا إلى الأعلى.

### Algorithm (١-١) { Reed\_Muller Decoding }

**Step ١ :** Set number of row =k

**Step ٢ :** Chose a row in the  $R(r,m)$  encoding matrix,

Find  $2^{m-r}$  Characteristic Vectors for that row ,

Take the product of each of those rows with the encoded message .

**Step ٣ :** Take the majority of the values of the dot product ,

Assign that values to the coefficient of the row .

**Step ٤ :** Decrement number of row by ١ ,

if the number of row equal to the first row ,then step ٥

Otherwise ,step ٢ .

**Step ٥ :** Multiply each coefficient by its corresponding row,

Add the resulting vectors to form  $M_y$  ,

Add this result to the received encoded message.

**Step ٦ :** If the resulting vector has more ones than zeros, then the top

row's coefficient is ١,otherwise it is ٠.

Adding the top row ,multiplied by its coefficient ,to  $M_y$

gives the original encoded message .

مثال (٤): لتكن الكلمة المرزمة باستخدام ترميز  $R(1,3)$  هي  $Mc = (00111100)$  ولان

المسافة الصغرى هي  $2^{3-1} = 4$  ، فإن هذا النوع من الترميز يمكنه تصحيح خطأ واحد فقط .

لتكن الكلمة المرزمة المستلمة هي  $Me = (10111100)$  :

إذن بتطبيق خوارزمية فك الترميز ، يجب إيجاد المتجهات المميزة للصف الاخير

$$X^3 = 10101010$$

$$X^1 X^2, X^1 \overline{X^2}, \overline{X^1} X^2, \overline{X^1} \overline{X^2}$$

وهي :

$$X^1 = 11110000$$

وبمعرفة المتجهات الآتية :

$$\overline{X^1} = 00001111$$

$$X^2 = 11001100$$

$$\overline{X^2} = 00110011$$

$$X^1 X^2 = 11000000$$

يمكن الحصول على :

$$\overline{X^1} X^2 = 00110000$$

$$\overline{X^1} \overline{X^2} = 00001100$$

$$\overline{X^1} X^2 = 00000011$$

وبإيجاد الضرب النقطي Dot Product لهذه المتجهات مع الكلمة المرزمة المستلمة Me

$$(11000000) \cdot (10111100) = 1$$

ينتج :

$$(00001100) \cdot (10111100) = 0$$

$$(00110000) \cdot (10111100) = 0$$

$$(00000011) \cdot (10111100) = 0$$

وبما ان اغلبيية القيم اصفار ، اذن نستنتج ان معامل  $X^3$  هو 0 ، ويعمل الخطوات نفسها للصف

التالي  $X^2$  حيث ان :

$$X^2 = 11001100$$

نحصل على المتجهات المميزة الآتية :

$$X^1 X^3 = 10100000$$

$$\overline{X^1} X^3 = 01010000$$

$$\overline{X^1} \overline{X^3} = 00001010$$

$$\overline{X^1} X^3 = 00000010$$

وبإيجاد الضرب لهذه المتجهات مع الكلمة المرزمة المستلمة Me ينتج :

$$(10100000) \cdot (10111100) = 0$$

$$(00001010) \cdot (10111100) = 1$$

$$(01010000) \cdot (10111100) = 1$$

$$(00001010) \cdot (10111100) = 1$$

وكما نلاحظ ان الاغلبية هي واحدات ، اذن معامل  $X^2$  هو ١ .

وعند اعادة العمل نفسه للصف الذي يليه  $X^1$  حيث ان :

$$X^1 = 11110000$$

نحصل على :

$$(10001000) \cdot (10111100) = 0$$

$$(01000100) \cdot (10111100) = 1$$

$$(00100010) \cdot (10111100) = 1$$

$$(00010001) \cdot (10111100) = 1$$

اذن معامل  $X^1$  هو ١ .

وبضرب كل معامل بالمتجه الخاص به ومن ثم جمع المتجهات الناتجة نحصل على  $My$  :

$$0 * (10101010)$$

$$1 * (11001100) \quad \oplus$$

$$1 * (11110000)$$

---


$$01111000$$

وبجمع  $My$  الناتجة مع  $Me$  نحصل على :

$$(00111100) \oplus (10111100) = (10000000)$$

وبما ان الناتج يحوي اصفارا اكثر من الواحدات اذن فان معامل الصف الاول لمصفوفة الترميز هو

٠ ، وعند قراءة المعاملات لصفوف المصفوفة ابتداء من الاعلى نحصل على كلمة

البيانات الاصلية : ٠١١٠

**الترميز الدوري Cyclic Code**

يعد الترميز الدوري من التطبيقات العلمية المفيدة في الترميز المقطعي. وأول من بدأ بدراسته هو Prange عام ١٩٥٧ [٨] وهذا النوع من الترميز يتضمن أنواع مهمة، واحدة منها هو ترميز BCH الذي يستخدم في تصحيح الأخطاء المتعددة [٢].  
ولدراسة معمارية الترميز الدوري نبدأ بمقدمة جبرية لدراسة مميزات متعددات الحدود والعمليات الرياضية المستخدمة ودراسة الحقل المحدد Finite Field وكيفية تمثيل عناصر الحقل كمتعددة حدود بالإضافة إلى الحقول الموسعة ومتعددات الحدود الأولية.

### مقدمة جبرية Introduction To Algebra

تتميز متعددات الحدود بمتغير  $X$  مع معاملات من الحقل الثنائي  $GF(2)$

$$f(x) = f_0 + f_1x + f_2x^2 + \dots + f_nx^n$$

حيث إن  $f_i = 0$  or  $1$  لكل  $0 \leq i \leq n$

وتعرف درجة متعددة الحدود بأنها أكبر قوة لـ  $X$  بمعامل غير صفري. ولمتعددة الحدود أعلاه، إذا كان  $f_n = 1$ ، إذن  $f(x)$  هي بدرجة  $n$ ، أما إذا كان  $f_n = 0$  فإن  $f(x)$  بدرجة أقل من  $n$ .  
إذن هناك  $2^n$  من متعددات الحدود الممكنة بدرجة  $n$ .

ومتعددات الحدود في الحقل الثنائي، يمكن إضافتها وطرحها وضربها وقسمتها بطريقة عادية.

لتكن

$$g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_nx^n$$

هي متعددة حدود أخرى في الحقل  $GF(2)$ ، تتم عملية جمع متعددتي الحدود  $f(x)$  و  $g(x)$  بإضافة معاملات القوة نفسها لـ  $x$  في  $f(x)$  و  $g(x)$  وكالاتي (على فرض أن  $m \leq n$ )

$$f(x) + g(x) = (f_0 + g_0) + (f_1 + g_1)x + \dots + (f_m + g_m)x^m + f_{m+1}x^{m+1} + \dots + f_nx^n$$

لـ  $2$  mod.

مثال (٥) : عند جمع متعددتي الحدود الآتيتين:

$$a(x) = 1 + x + x^2 + x^0$$

$$b(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^5$$

نحصل على متعددة الحدود الآتية :

$$\begin{aligned} a(x) + b(x) &= (1+1) + x + x^2 + (1+1)x^3 + x^4 + x^0 + x^5 \\ &= x + x^2 + x^4 + x^0 + x^5 \end{aligned}$$



$$x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1 = (x^3 + x^2)(x^3 + x + 1) + (x^2 + x + 1)$$

وعندما تكون  $r(x)=0$  فهذا يعني إن  $g(x)$  تقسم  $f(x)$  وان  $g(x)$  هي معامل  $f(x)$  [١].

### الحقول الموسعة ومتعددات الحدود الأولية Extended Field & Primitive

**Polynomials :** لأي عدد صحيح موجب  $m$ ، وعدد أولي  $P$  يمكن إيجاد الحقل الموسع

$GF(P^m)$ . ويعد الحقل  $GF(P)$  عندما  $m=1$  هو حقلا جزئيا من  $GF(P^m)$  وهذا يعني إن العناصر في الحقل  $GF(P)$  هي مجموعة جزئية من العناصر في الحقل  $GF(P^m)$  ولهذا يسمى الحقل الموسع.

نظرية: تُكوّن الأعداد  $0, 1, \dots, P-1$  الحقل  $GF(P)$  حيث إن  $P$  هي عدد أولي تحت  $\text{mod } P$  (للجمع والضرب) [٨].

تعريف: تدعى متعددة الحدود  $P(x)$  بدرجة  $m$  وبمعاملات في الحقل  $GF(P)$  بأنها غير قابلة للاختزال irreducible إذا كانت غير قابلة للقسمة بوساطة أي متعددة حدود بمعاملات في الحقل  $GF(P)$  وبدرجة اقل من  $m$  واكبر من صفر [٤].

تدعى متعددة الحدود غير القابلة للاختزال التي تملك عنصرا أوليا كجذر بمتعددة الحدود الأولية غير القابلة للاختزال.

تعريف: متعددة الحدود غير القابلة للاختزال  $P(x)$  في الحقل  $GF(P)$  وبدرجة  $m$  هي أولية إذا كان اصغر عدد موجب  $n$  بحيث إن  $P(x)$  تقسم  $x^n - 1$  هو  $n = P^m - 1$ . ومن المهم ملاحظة انه ليس كل متعددة حدود غير قابلة للاختزال هي أولية (أي تقبل القسمة على نفسها والواحد) [٨].

### تكوين حقل كالوس $GF(2^m)$ : Construction of Galos Field

يمكن وصف طريقة تكوين حقل كالوس  $GF(2^m)$  من الحقل الثنائي  $GF(2)$ ، أي تكوين حقل بـ  $2^m$  من العناصر حيث إن  $(m > 1)$  [٨][٢٤]. نبدأ أولا بالعنصرين  $0, 1$  من الحقل الثنائي ورمز جديد هو  $\infty$ ، نستخدم عملية الضرب multiplication (.) لإعطاء سلسلة القوى لـ  $\infty$  وكآلاتي

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$1.1 = 1$$

$$0.\infty = 0$$

$$1.\infty = \infty$$

$$\infty^2 = \infty.\infty$$

$$\infty^3 = \infty.\infty.\infty$$

⋮

$$\infty^j = \infty.\infty.\infty \text{ (j من المرات)}$$

⋮

ومن أعلاه نستنتج إن :

$$0.\infty^j = \infty^j.0 = 0$$

$$1.\infty^j = \infty^j.1 = \infty^j$$

$$\infty^j.\infty^l = \infty^l.\infty^j = \infty^{j+l}$$

مثال (٧) : ليكن  $m=4$  ، و متعددة الحدود الأولية هي  $P(x) = 1 + x + x^2 + x^4$  في الحقل

الثنائي.

$$P(\infty) = 1 + \infty + \infty^2 = 0 \quad \text{بتعويض } \infty \text{ في المعادلة}$$

$$\infty^4 = 1 + \infty \quad \text{إذن}$$

باستخدام هذه المعادلة تكون الحقل  $GF(2^4)$ . حيث يتم استخدام المعادلة أعلاه بصورة

متكررة لتكون تمثيل متعددة الحدود لعناصر  $GF(2^4)$  مثلاً

$$\infty^0 = \infty.\infty^4 = \infty(1 + \infty) = \infty + \infty^2$$

$$\infty^6 = \infty.\infty^0 = \infty(\infty + \infty^2) = \infty^2 + \infty^3$$

$$\infty^7 = \infty.\infty^6 = \infty(\infty^2 + \infty^3) = \infty^3 + \infty^4 = \infty^3 + 1 + \infty = 1 + \infty + \infty^3$$

### وصف الترميز الدوري Description of Cyclic Code

يملك الترميز الدوري العديد من المواصفات التي تميزه عن بقية أنواع الترميز أولها هو

البساطة في الترميز، بالإضافة إلى الهيكل الرياضي الذي يتصف به والذي يقود إلى كفاءة في

خطوات فك الترميز [٨][٢]. يتصف الترميز الدوري بصفيتين مهمتين هما:

١- صفة الخطية /Linearity Property وتعني أن حاصل جمع أي كلمتين مرزتين تنتج كلمة

مرمزة أخرى.

٢-صفة الدورية Cyclic Property / وتعني أن أي إزاحة دورية لكلمة مرمزة تنتج كلمة مرمزة أخرى.

لتكن  $C_0, C_1, \dots, C_{n-1}$  هي كلمة مرمزة

إذن  $C_{n-1}, C_0, \dots, C_{n-2}$

$C_{n-2}, C_{n-1}, C_0, \dots, C_{n-3}$

⋮

هي أيضا كلمات مرمزة.  $C_1, C_2, \dots, C_n$

يمكن تمثيل الكلمة المرمزة بطول  $n$  كمعاملات لمتعددة حدود بدرجة  $n-1$  وكالاتي

$$C(x) = C_0 + C_1x + \dots + C_{n-1}x^{n-1}$$

بالنسبة للترميز الثنائي فان المعاملات هي أما ٠ أو ١، وكل قوة لـ  $x$  في متعددة حدود تمثل

إزاحة دورية بمقدار بت واحد. وعند ضرب متعددة الحدود  $C(x)$  بـ  $x$  فهذا يعني إزاحة دورية إلى

اليمين. بصورة عامة إذا كانت  $C(x)$  هي متعددة حدود الكلمة المرمزة، اذن متعددة الحدود  $X^i$

$C(x) \bmod (X^n - 1)$  هي أيضا متعددة حدود كلمة مرمزة لأي إزاحة دورية  $i$ .

### متعددة الحدود المولدة Generator Polynomial :

يوصف الترميز الدوري  $(n, k)$  بمجموعة متكاملة من متعددات حدود الكلمة المرمزة

بدرجة  $n-1$  أو اقل والتي تحوي على متعددة حدود بدرجة  $n-k$  كمعامل. وسيشار لها بـ  $g(x)$

وتدعى متعددة الحدود المولدة للترميز وبدرجة مساوية لعدد بتات فحص التماثل في الترميز.

تتصف متعددة الحدود المولدة بالمواصفات الآتية [٨][٢]:

١- يجب أن تكون بدرجة  $r$  حيث إن  $r = n - k$ .

٢- يجب أن تكون بالصيغة الآتية

$$\dots (10-1)$$

$$g(X) = 1 + \sum_{i=1}^{r-1} g^i X^i + X^r$$

٣- يجب أن تكون غير قابلة للاختزال.

والآن يتم التطرق إلى نوع مهم من أنواع الترميز الدوري وهو:

**ترميز BCH:** اكتشف هذا النوع عام ١٩٦٠ من قبل Bose و Chaudhuri وبصورة مستقلة

من قبل Hocquenghem عام ١٩٥٩. ويعد ترميزا كفوءا لتصحيح الأخطاء العشوائية

المتعددة، ويستخدم رياضيات حقل كالوس في عملية فك الترميز.

لأي عدد صحيح موجب  $m$  حيث إن  $m \geq 3$  و  $t$  حيث إن  $t < 2^{m-1}$ ، يوجد ترميز ثنائي هو

ترميز BCH بالمواصفات الآتية:

- طول كلمة الترميز  $n = 2^m - 1$ .

- عدد بتات فحص التماثل  $t \leq n - k$ .

- المسافة الصغرى  $d_{\min} \geq 2t+1$  .

لهذا النوع من الترميز القابلية على تصحيح  $t$  أو أقل من الأخطاء في مقطع بطول  $2^m-1$  من البتات [٨] . يوضح الجدول الآتي المعالم الخاصة بترميز BCH لـ  $m \leq 6$  :

m	n	k	T
٣	٧	٤	١
٤	١٥	١١	١
		٧	٢
		٥	٣
٥	٣١	٢٦	١
		٢١	٢
		١٦	٣
		١١	٥
		٦	٧
٦	٦٣	٥٧	١
		٥١	٢
		٤٥	٣
		٣٩	٤
		٣٦	٥
		٣٠	٦
		٢٤	٧
		١٨	١٠
		١٦	١١
		١٠	١٣
		٧	١٥

جدول رقم (٢-١) يوضح المعالم الخاصة بترميز BCH لـ  $m \leq 6$

ويمكن تعريف مصفوفة فحص التماثل H الخاصة بهذا الترميز لأنه من أنواع الترميزات الخطية، وأيضا يمكن تحسينه بالاعتماد على متعددة الحدود المولدة.

وتعرف مولدة الحدود المولدة لترميز BCH كالآتي:

$$g(x) = LCM \{ \Phi_1(x), \Phi_3(x), \dots, \Phi_{2^t-1}(x) \} \quad \dots \quad (11-1)$$

حيث إن  $\phi_i(x)$  هو متعددة الحدود الصغرى minimal polynomial للـ  $\alpha^i$  حيث إن  $\alpha$

هو عنصر من الحقل  $GF(2^m)$  ويمثل جذر لمتعددة الحدود الأولية  $p(x)$ .

تمثل المصفوفة H مصفوفة فحص التماثل لهذا الترميز:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \dots & \alpha^{n-1} \\ 1 & \alpha^3 & \left(\alpha^3\right)^2 & \left(\alpha^3\right)^3 & \dots & \left(\alpha^3\right)^{n-1} \\ 1 & \alpha^5 & \left(\alpha^5\right)^2 & \left(\alpha^5\right)^3 & \dots & \left(\alpha^5\right)^{n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad \dots \quad (12-1)$$

ومدخلات المصفوفة هي عناصر  $\alpha^{2^i-1}$  في  $GF(2^m)$  كل عنصر في الحقل يمثل

بـ  $m$  من البتات في الحقل الثنائي  $GF(2)$  [٤][٢][٨].

### ترميز وفك ترميز BCH Encoding & Decoding:

لترميز متسلسلة البيانات  $u(x)$  باستخدام هذا النوع وبمتعددة حدود مولدة  $g(x)$ . نقوم أولا

بإيجاد بتات فحص التماثل باستخدام العلاقة الآتية

$$b(x) = X^{n-k} u(x) \text{ mod } g(x) \quad \dots \quad (13-1)$$

إذن الكلمة المرزمة هي:

$$v(x) = X^{n-k} u(x) + b(x) \quad \dots \quad (14-1)$$

ولفك ترميز الكلمة المرزمة المستلمة  $r(x)$  نتبع الخطوات الآتية:

١- حساب السندروم  $S = (s_1, \dots, s_{2^t}) = r \cdot H^T$  من متعددة حدود الكلمة المرزمة المستلمة  $r(x)$ ،

وكل عنصر من السندروم يحسب كالآتي:

$$S_i = r(\alpha^i) \quad \dots \quad (15-1)$$

٢- إيجاد متعددة حدود موقع الخطأ Error Location Polynomial  $\sigma(x)$  من مكونات السندروم

باستخدام خوارزمية بير لكامب- ماسي Berlekamp-Massey algorithm.

٣- إيجاد أرقام موقع الخطأ error location numbers بواسطة إيجاد جذور  $\sigma(x)$  ثم تصحيح الأخطاء في  $r(x)$ .

### (٢-٢-١) الترميز الالتفافي Convolutional Code :

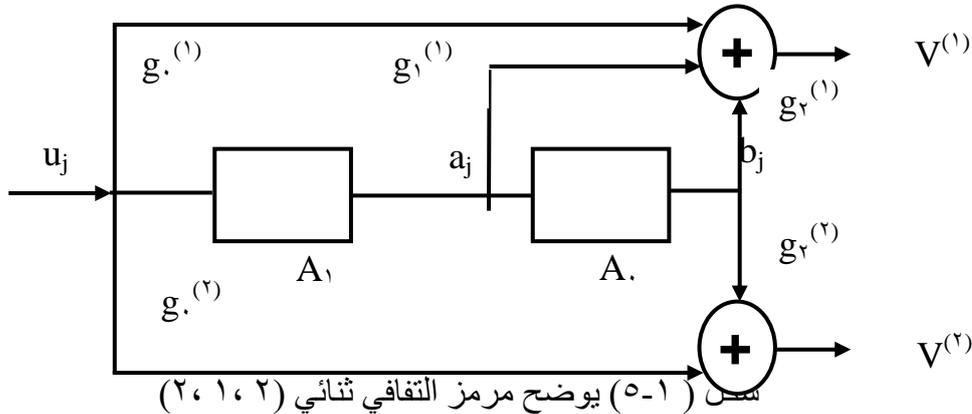
يختلف هذا النوع من الترميز عن الترميز المقطعي باحتوائه على ذاكرة، حيث يستخدم مسجل الإزاحة بـ  $m$  من المراحل. للرمز  $k$  من المدخلات لمتسلسلة المعلومات و  $n$  من المخرجات.

تعتمد مخرجات الرمز  $n$  في أي لحظة ليس فقط على المدخل  $k$  و إنما أيضا على الـ  $m$  من البتات السابقة.

ويشار إلى الترميز الالتفافي بـ  $(n, k, m)$  ومعدل الترميز  $R = k/n$  [٨][٦].

**عملية الترميز Encoding Process** : تنجز عملية الترميز باستخدام واحد أو أكثر من مسجلات الإزاحة التي تحسب رموز فحص التماثل. وكما هو الحال في الترميز المقطعي، هناك ترميز التفافي نظامي وغير نظامي.

يوضح الشكل الآتي رمزاً التفافياً يستخدم مسجل إزاحة بمرحلتين  $m=2$  ومخرجين  $n=2$ ، حيث إن في كل وحدة زمنية فان بتاً واحداً من متسلسلة البيانات المدخلة  $u = (u_0, u_1, \dots)$  يزاح إلى مسجل الإزاحة، وبتات البيانات الأقدم تزاح إلى خارج مسجل الإزاحة.



ونلاحظ من الشكل (٥-١) إن متسلسلتي التوليد المستخدمتين هما :

$$g^{(1)} = (1 \ 1 \ 1)$$

$$g^{(2)} = (1 \ 0 \ 1)$$

حيث ان ١ يشير الى وجود ارتباط اما ٠ فيشير الى عدمه، وبصورة عامة يمكن كتابة

$$g^{(1)} = (g_0^{(1)}, g_1^{(1)}, \dots, g_m^{(1)}) \quad \text{متسلسلتي التوليد كالاتي:}$$

$$g^{(2)} = (g_0^{(2)}, g_1^{(2)}, \dots, g_m^{(2)})$$

وتكتب معادلات الترميز بالشكل الآتي:

$$\begin{aligned} V^{(1)} &= u * g^{(1)} \\ V^{(2)} &= u * g^{(2)} \end{aligned} \quad \dots (16-1)$$

حيث ان  $V^{(1)}$  و  $V^{(2)}$  هما متسلسلي الكلمة المرزمة ، وفي النهاية تدمج المتسلسلتين للحصول على متسلسلة واحدة تدعى بـ (الكلمة المرزمة) لنقلها خلال القناة

$$V = (V_1^{(1)} V_1^{(2)}, V_2^{(1)} V_2^{(2)}, V_3^{(1)} V_3^{(2)}, \dots)$$

ولتكوين مصفوفة التوليد Generation Matrix الخاصة بالترميز يجب ترتيب

متسلسلات التوليد كما موضح في المصفوفة G (بالنسبة للشكل السابق باستخدام متسلسلتين)

$$\left[ \begin{array}{cccc} g_0^{(1)} g_0^{(2)} & g_1^{(1)} g_1^{(2)} & g_2^{(1)} g_2^{(2)} & \dots g_m^{(1)} g_m^{(2)} \\ & g_0^{(1)} g_0^{(2)} & g_1^{(1)} g_1^{(2)} & \dots g_{m-1}^{(1)} g_{m-1}^{(2)} g_m^{(1)} g_m^{(2)} \\ & & g_0^{(1)} g_0^{(2)} & \dots g_{m-2}^{(1)} g_{m-2}^{(2)} \dots g_m^{(1)} g_m^{(2)} \end{array} \right] \dots (17-1)$$

حيث أن بقية القيم أصفارا ، و تكون المصفوفة بـ L من الصفوف و  $n(m+L)$  من

الأعمدة، أما طول الكلمة المرزمة فهو  $n(m+L)$  حيث إن L هو طول متسلسلة البيانات و m هي عدد مراحل مسجل الإزاحة و n هي عدد المخرجات [٨][٢٦].

### تمثيلات الترميز الالتفافي Representations of Convolutional Code

هناك ثلاثة أنواع من التوصيفات لهيكل الترميز الالتفافي:

١- شجرة الترميز Code Tree .

٢- المخطط الشبكي Trellis Diagram .

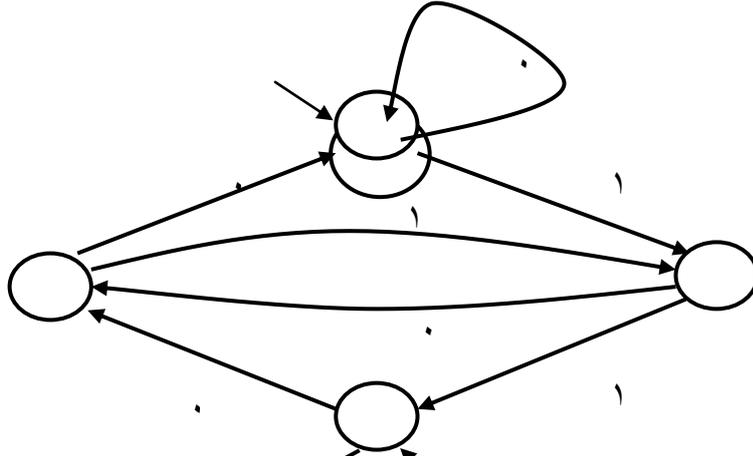
٣- الآلة محددة الحالات Finite State Machine .

والتوصيف المعتمد في عملية الترميز هنا هو الآلة المحددة الحالات حيث إن حالة المرمز

تمثل محتويات مسجل الإزاحة. ولترميز  $(n, k, m)$  فإن كل مدخل يؤدي إلى تغيير حالة الرمز، وهناك  $2^k$  من الأفرع تغادر كل حالة، وكل من هذه الأفرع يعنون بالمدخل k والمخرج n. يوضح

الشكل الآتي الآلة محددة الحالات المكافئة للمرمز الالتفافي السابق بذاكرة  $m=2$  وبمعدل ترميز

$1/2$  وبذلك يكون عدد الحالات مساويا لـ  $2^m=4$ .



شكل رقم (٦-١) يمثل الآلة محددة الحالات المطابقة للمرمز في الشكل (٥-١)

وكحالة ابتدائية فان المرمز يكون في الحالة ٠ ، إذا كان المدخل لأول بت هو ٠ إذن المرمز يبقى في الحالة الصفرية وناتج الترميز ٠٠ ، ولكن إذا كان بت الإدخال هو ١ إذن المرمز ينتقل إلى الحالة ١٠ وينتج ١١ ، .. وهكذا. اما الحالة النهائية فهي ٠٠ ايضا كما هو موضح في الشكل اعلاه .

يوضح الجدول الآتي الحالة التالية next state للمرمز بالاعتماد على الحالة الحالية

Input والمدخل current state

Next State if الحالة التالية إذا		
Current State	Input=٠ المدخل	Input=١ المدخل
٠٠	٠٠	١٠
٠١	٠٠	١٠
١٠	٠١	١١
١١	٠١	١١

جدول رقم (٣-١) يمثل جدول انتقال الحالة

أما الجدول الآتي فيمثل الرموز الناتجة من عملية الترميز بالاعتماد على الحالة الحالية

وبيانات الإدخال

Output Symbols if الرموز المخرجة إذا		
Current State	Input=٠ المدخل	Input=١ المدخل
٠٠	٠٠	١١
٠١	١١	٠٠

١٠	١٠	٠١
١١	٠١	١٠

جدول رقم (٤-١) يمثل جدول مخرجات المرمز

وباستخدام هذين الجدولين يمكن وصف سلوك الرمز الالتفافي بصورة كاملة.

### خوارزمية فيتربي لفك الترميز الالتفافي

تعتمد خوارزمية فيتربي Viterbi Decoding لفك الترميز الالتفافي على المخطط

الشبكي Trellis Diagram. المبدأ الأساس لهذه الخوارزمية هو اختيار المسار الذي تختلف فيه المتسلسلة المرمزة Code Sequence عن المتسلسلة المستلمة Received Sequence بأقل عدد من المواقع.

يمكن توضيح عمل هذه الخوارزمية والمعادلات ذات العلاقة بعملية فك الترميز باستخدام المرمز نفسه في الشكل رقم (٤-١) [١٣].

لتكن متسلسلة المعلومات هي

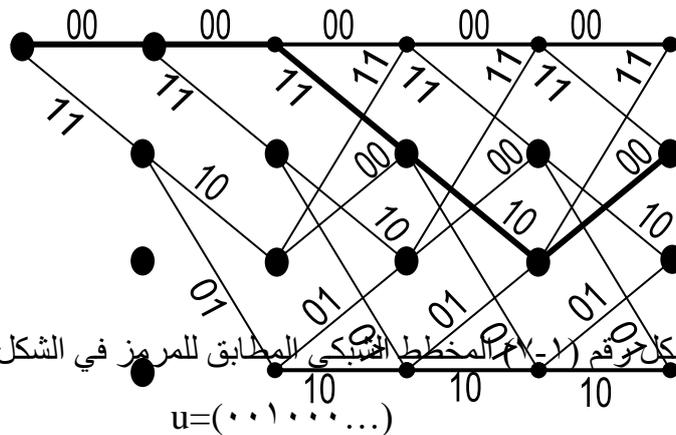
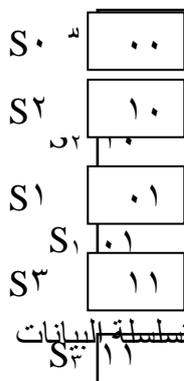
$$u=(u_0, u_1, u_2, \dots)$$

ومتسلسلة الكلمة المرمزة الناتجة هي

$$v=(v_0, v_1, v_2, \dots)$$

إن أي إدخال لبت من بتات متسلسلة المعلومات تسبب تغيير حالة المسجل، وهذه تمثل بواسطة التفرعات من العقدة الحالية إلى العقدة التالية. وكل تفرع من العمود  $z$  th يعنون بكلمة إخراج مرمزة هي  $u_i$ .

التفرع الأعلى الذي ينطلق من العقدة في الوقت  $z-1$  إلى إن الإدخال هو ٠ أي إن  $u_z=0$  أما التفرع الأدنى فيعني إن الإدخال هو ١، و  $u_z=1$ . يمثل الشكل (٧-١) المخطط الشبكي المطابق لمتسلسلة المعلومات  $u=(00100\dots)$ .



شكل رقم (٧-١) المخطط الشبكي المطابق للمرمز في الشكل (٤-١) ولمتسلسلة البيانات

$$u=(00100\dots)$$

يقبل هذا النوع متسلسلة معلومات من المجموعة

حيث إن  $u = \{u_j | j \text{ is integer}\}$   $u_j \in \{0, 1\}$

لتكن  $N$  هي مجموعة أو متجه الحالات

$$N = \{(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)\}$$

ولتكن  $m_j = (a_j, b_j)$  هي رقم الحالة في الزمن  $j$  إذن  $(a_j, b_j) \in N$

حيث إن

$$a_j = u_{j-1}$$

$$b_j = u_{j-2}$$

أما مخرجات المرمز فهي  $v = \{v_j | j \text{ is integer}\}$  حيث إن

$$v_j = (\alpha_j, \beta_j) \in \{(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)\}$$

$$\alpha_j = u_j \oplus a_j \oplus b_j \dots$$

$$\beta_j = u_j \oplus b_j \dots$$

لنفرض إن الكلمة المرزمة المرسله هي  $v = (v_0, v_1, v_2, \dots)$  والكلمة المستلمة هي  $r =$

$(r_0, r_1, r_2, \dots)$  لحساب التفرع من الحالة  $S_{m_{j-1}}$  في الزمن  $j-1$  إلى الحالة  $S_{m_j}$  في الزمن  $j$

حيث إن  $m_{j-1}, m_j \in N$ ، سنستخدم المعادلة الآتية [٢٣]:

$$d_{j-1, j}(m_{j-1}, m_j) = |r_{j-1} - v_{j-1}| \dots (18-1)$$

يمثل الطرف الأيسر من المعادلة مسار مسافة هامينك من الحالة  $S_{m_{j-1}}$  إلى الحالة  $S_{m_j}$ ، أما

الطرف الأيمن فيمثل وزن هامنك. ولحساب المسار الجزئي Partial Path للحالة  $S_{m_j}$  حيث إن

$m_{j-1}$  و  $m_j$  تمثل أرقام الحالات في المسار في الزمن  $i-1$  و  $i$  على التوالي لكل قيم  $i$  حيث إن

$j, \dots, 2, 1$ .

$$(19-1)$$

ولحساب اصغر (مقياس لكل المسارات التي تنتهي في الحالة  $S_{m_j}$  في الزمن  $j$ )

$$\rho_j(m_j) = \min. M_j(m_j) \dots (20-1)$$

حيث إن  $Q_j(m_j)$  هي مجموعة كل المسارات التي تبدأ من  $S_0$  في الزمن  $0$  وتنتهي بالحالة

$S_{m_j}$  في الزمن  $j$ . و  $\rho_j(m_j)$  هو وزن ما يسمى بـ (المسار المتبقي Survivor Path) للحالة  $S_{m_j}$

في الزمن  $j$  حيث انه يعتمد على بتات معلومات الإدخال. وكما موضح في الخوارزمية ادناه:

**Algorithm (١-٢) { Viterbi Decoding }**

**Step ١ : Start in time  $j=1$ ,**

Compute partial path for single path which input any state,  
Store path and its metric for each state .

**Step ٢ :** Increment  $j$  by ١, Compute partial metric for all paths which  
Input the state by compute branching for this state in  
Current time and previous time,

Store path with smallest metric and delete other paths.

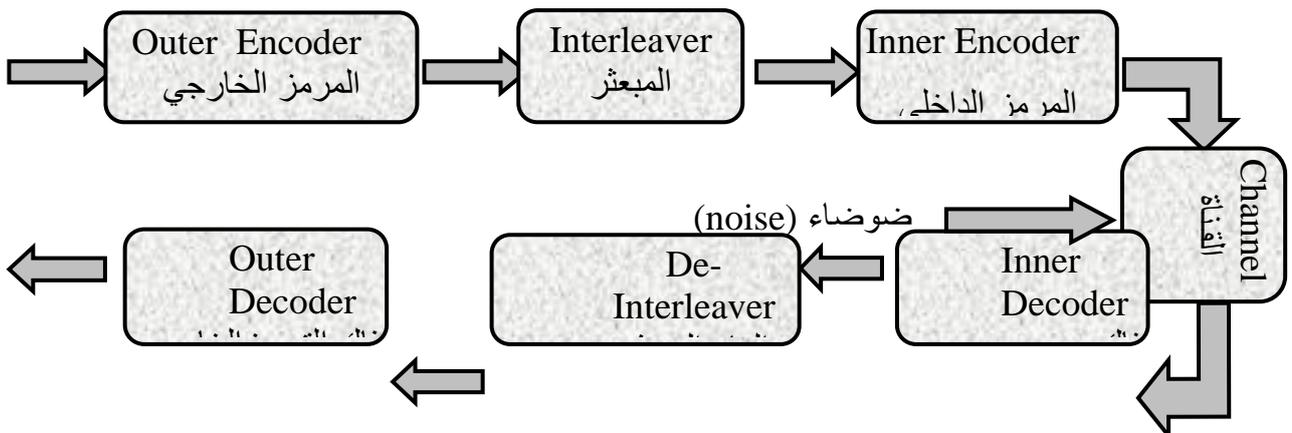
**Step ٣ :** If  $j < L_c$ , where  $L_c$  is the length of encoded word , then  
Repeat step ٢ , else stop .

بعد أن تم تسليط الضوء على أهم المميزات لكلا الترميزين المقطعي و الالتفافي، لابد من توضيح أنواع ترميزات الترابط المستخدمة في البحث

### (٣-١) الترميز الترابطي التقليدي Traditional Concatenated Codes

تتزايد قوة الترميز بزيادة طول مقطع البيانات  $k$  ، وبذلك تقل احتمالية الخطأ، ولكن بالمقابل يؤدي ذلك إلى زيادة تعقيد فك الترميز، وهذا يقود إلى اقتراح طريقة جديدة لتكوين ترميز طويل من ترميزات قصيرة يمكن ان تفك بسهولة و بطريقة منفصلة، وهذه الطريقة هي الترابط Concatenation [٣١][١١].

تعد مسألة تغذية المخرجات لرمز إلى رمز آخر هي المبدأ الأساس للترابط. يوضح الشكل الاتي الترابط التسلسلي لاثنتين من المرمزات المقطعية الاول يسمى المرمز الخارجي بـ  $(k^1, n^1)$  والثاني يسمى المرمز الداخلي بـ  $(k^2, n^2)$  حيث تتم عملية الترميز بمرحلتين، باستخدام المرمز الخارجي اولاً ثم يتم تغذية مخرجات هذا المرمز إلى المرمز الثاني (الداخلي). اما عملية الترميز فتتم بصورة عكسية، حيث يفك الترميز ابتداء من الترميز الداخلي، وانتهاء بالترميز الخارجي. وعادة يفصل المبعثر Interleaver بين عمليتي الترميز، وإلغاء المبعثر De-Interleaver بين عملية فك الترميز [٨][١][١١].



شكل رقم (٨-١) يوضح الترميز الترابطي التقليدي بـ  $(n, k)$

يلعب المبعثر دوراً مهماً في فصل الأخطاء المحتملة التي قد تحدث أثناء عملية الإرسال. وسيتم شرح المبعثر وعمله وأنواعه بشيء من التفصيل في البند (٢-٤-١). وعادة يتم استخدام أحد طرائق الترميز المقطعي المستخدمة في المرحلة الواحدة الألفة الذكر كترميز خارجي أو داخلي. وسيتم توضيح الطرائق المستخدمة في هذا النوع من الترابط واداء كل طريقة في الفصل الثاني .

نفرض استخدام ترميز خارجي و داخلي بقابليات تصحيح خطأ واحد لكل منهما، فعندما تكون الرسالة المستلمة تتضمن أخطاء اكبر من قابليات تصحيح الخطأ فان ذلك قد يؤدي الى اخطاء جديدة وهي خطأ فك الترميز، مثلاً لقابلية تصحيح خطأ واحد فان الكلمة المستلمة إما ان تكون غير محتوية على أخطاء وبذلك يكون فك الترميز ناجحاً، أو تحوي على ثلاثة أخطاء على الأقل عندها يكون فك الترميز خاطئاً [١١] .

ويمكن ملاحظة ان أداء فك الترميز يتحسن بتكرار فك الترميز لعدة مرات. وهذا ما يسمى بخوارزميات المدخل المرن- المخرج المرن Soft in- Soft out SISO.

ونقصد بالمرن soft، هو استخدام لوغاريتم لمعدل الأرجحية Log Likelihood Ratio (LLR) لبت البيانات حيث إن LLR هو معدل احتمالية أن يكون البت مساوياً لـ ١ إلى احتمالية أن يكون البت مساوياً لـ ٠. وبالنتيجة فان الإشارة الموجبة تعني انه ١ وإذا كانت الإشارة سالبة فهذا يعني ترجيح البت ٠ [١١][٣٢] .

في الطريقة التقليدية لفك الترميز تمرر رموز الإدخال إلى فاك الترميز ليقرر أي القيمتين تم إرسالها ٠ أم ١، ولكن لا توجد أية معلومات عن وثوقية هذا القرار الحاد Hard Decision.

تم تطوير خوارزميات جديدة هي خوارزميات المخرج المرن لغرض إمرار معلومات اكثر من فاك ترميز إلى آخر.

تعطي خوارزميات قرار المخرج المرن Soft Output Decision Algorithms عدد حقيقي كمخرج الذي يمثل مقياس لاحتمالية الخطأ لبت واحد ( أي يمثل الوثوقية للقرار الحاد لفاك الترميز). وهذه المعلومات الإضافية مهمة جداً بالنسبة للمرحلة التالية في عملية فك الترميز المتكرر [٣١][٣٢].

ويعد LLR مقياس للمعلومات الكلية Total Information التي نملكها عن بت واحدة. وهذه المعلومات تأتي من عدة مصادر Several Sources بعضها يأتي من بت البيانات المستلمة نفسها والتي تعرف بالمعلومات الذاتية Intrinsic Information . وبعضها

يستخلص من فاك الترميز decoder، فعندما تتم عملية فك الترميز لفاك الترميز الأول فان المعلومات التي نحصل عليها من فاك الترميز الآخر تعد معلومات خارجية Extrinsic information، وعادة تمرر هذه المعلومات لفاك الترميز التالي next decoder [٣١]. وهذا قاد إلى مبدأ استخدمه فريق عمل فرنسي سنة ١٩٩٣ هو مبدأ التوربو، والذي لا يعتمد على ترميزات الترابط المقطعي التقليدي، وانما على ترابط متوازي لاثنين من المرمرات الالتفافية.

### (٤-١) الترميز الترابطي المتوازي (ترميز التوربو) Parallel Concatenated Code:

قدم هذا النوع من هياكل الترابط لأول مرة عام ١٩٩٣ من قبل C- Berrou وجماعته، وسمي هذا النوع من الترابط بترميز التوربو Turbo Code الذي يصمم باستخدام الترابط المتوازي لاثنين من الترميزات الالتفافية النظامية المتكررة Recursive Systematic Convolutinal (RSC) [١٥].

نفرض رمز التفافي ثنائي بمعدل ترميز  $R=1/2$  وطول محدد  $K$  وذاكرة  $m=K-1$ ، مدخلات المرمر في الزمن  $k$  هو البت  $d_k$  اما الكلمة المرمر المطابقة فهي  $C_k$ ، أي ان المخرجات هي  $X_k, Y_k$ :

$$X_{kk} = \sum_{i=0}^{k-1} g_{2i} d_{k-i} \text{ mod } 2 \quad G_1 = \{g_{1i}\} \quad g_{2i} = 0, 1, \dots, (b) \quad \dots (21-1)$$

حيث ان

$$G_2 = \{g_{2i}\}$$

هما مولدتي الترميز ويعبر عنها بالهيئة الثمانية ولمعدل ترميز التفافي نظامي تكراري  $R=1/2$ ، يمكن الحصول عليه من ترميز التفافي غير نظامي باستخدام خط التغذية العكسية، ووضع احد المخرجات  $X_k, Y_k$  مساوية لبت الادخال  $d_k$  [١٥].

اذا كان  $X_k = d_k$  فان المخرج الثاني  $Y_k$  يكون مساويا للمعادلة (b) بتعويض  $a_k$  بدلا من  $d_k$ ، حيث يتم حساب  $a_k$  من المعادلة التالية:

$$a_k = d_k + \sum_{i=0}^{k-1} y_i a_{k-i} \text{ mod } 2 \quad \dots (22-1)$$

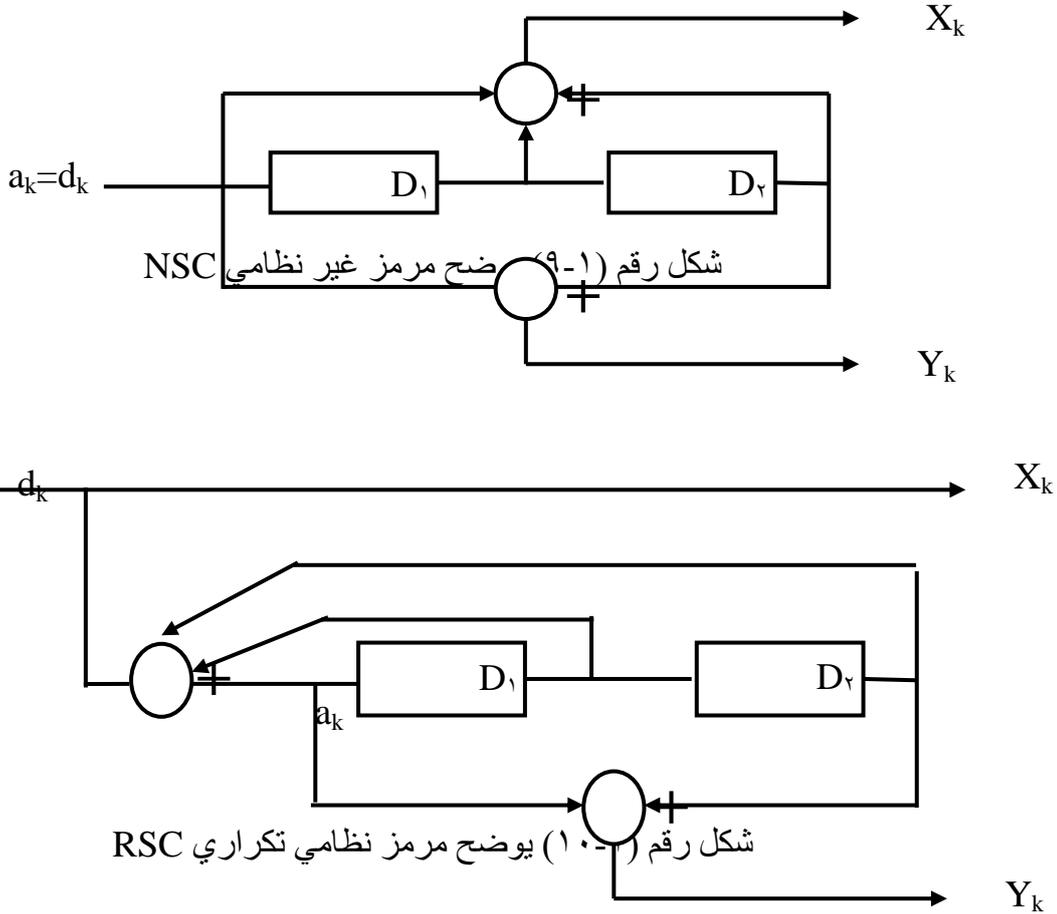
عندما تكون  $X_k = d_k$  فان  $y_i$  مساوية لـ  $g_{1i}$  اما اذا كان  $Y_k = d_k$  فان  $y_i$  تكون مساوية لـ  $g_{2i}$ .

$$y_i = \begin{cases} g_{1i} & \text{if } X_k = d_k \\ g_{2i} & \text{if } Y_k = d_k \end{cases} \quad \dots (23-1)$$

ويمكن اعادة كتابة المعادلة (٢٢-١) كالآتي:

$$d_k = \sum_{i=0}^{k-1} y_i a_{k-i} \text{ mod } 2 \quad \dots (٢٤-١)$$

يوضح الشكل (١٠-١) مرمز RSC بذاكرة  $m=٢$  صمم بالاعتماد على مرمز NSC الموضح بالشكل (٩-١) والمعرف بالمولدتين  $G_٧=٧$  و  $G_٥=٥$

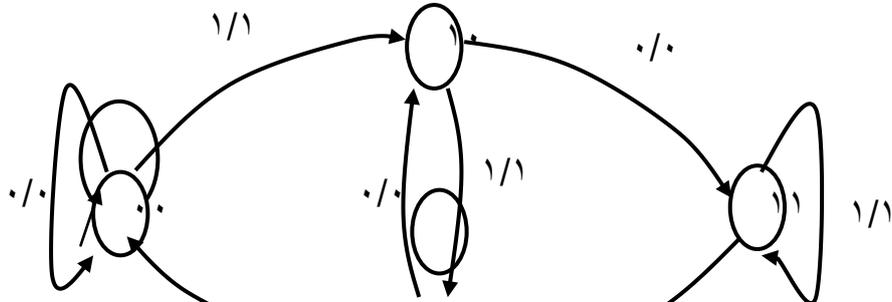


يمثل الجدول (٥-١) جدول المخرجات Output Table لرمز RSC الموضح في الشكل رقم (١٠-١) بالاعتماد على الحالة الحالية والإدخال.

Current State	Output Symbol, if	
	Input = ٠	Input = ١
٠٠	٠٠	١١
٠١	٠٠	١١
١٠	٠١	١٠
١١	٠١	١٠

جدول رقم (٥-١) يمثل جدول المخرجات للمرمز RSC الموضح في الشكل (١٠-١)

أما الآلة المحددة الحالة فيمكن توضيحها بالشكل الآتي:

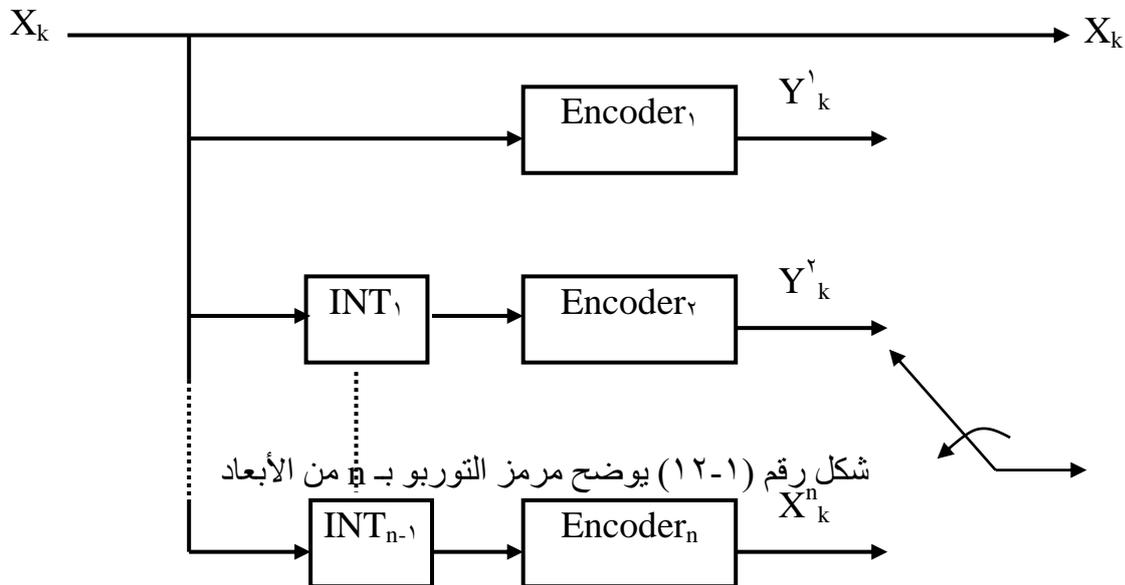


شكل رقم (١١-١) يمثل الآلة محددة الحالة المطابقة للمرمز RSC الموضح بالشكل (١٠-١) حيث ان المرمز يبدأ بـ ( ٠٠ ) كحالة ابتدائية ، وينتهي بالحالة نفسها .

ولاجل توضيح مبدأ ترميز التوربو لابد من دراسة هيكل المرمز Encoder Structure وعمله وكيفية استخدام الحذف Puncturing لزيادة معدل الترميز، ووصف دور المبعثر Interleaver وتأثيره في اداء الترميز، بالإضافة الى توضيح أنواع المبعثرات ومواصفاتها. واخيرا يتم وصف هيكل فك الترميز ومبدأ التكرار Iterative المستخدم فيه.

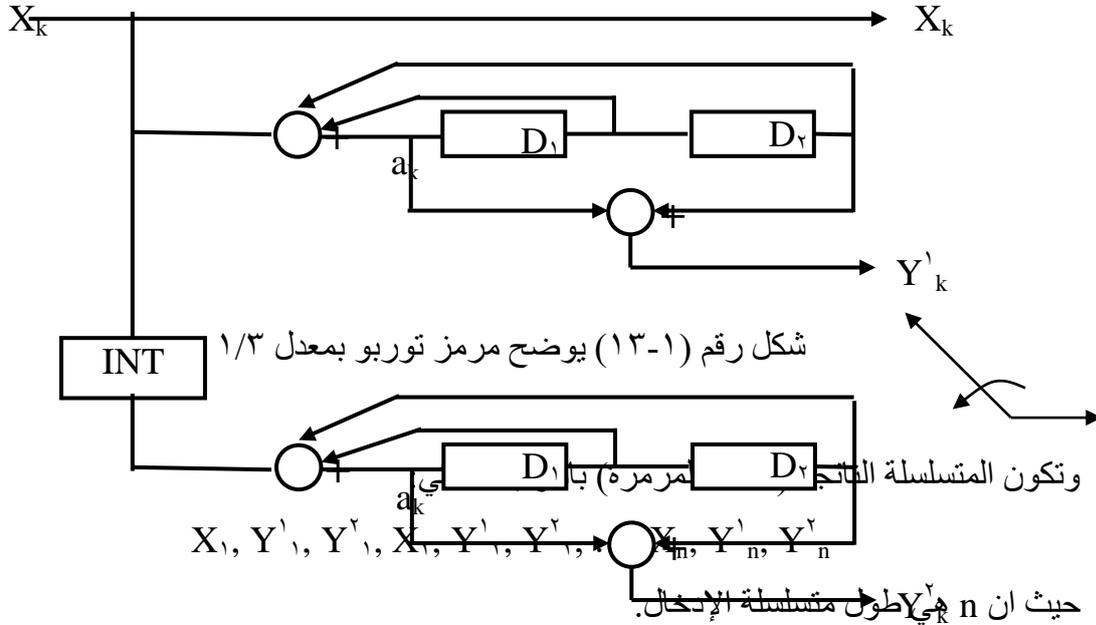
### ١-٤-١) مرمز التوربو Turbo Encoder

يتكون مرمز التوربو من n من المرمزات نوع RSC بصورة متوازية مع n-١ من المبعثرات Interleavers بحيث ان متسلسلة المعلومات تدخل إلى المرمز الأول Encoder<sub>١</sub> بهيأتها الأصلية أما بالنسبة لبقية المرمزات Encoder<sub>n</sub>: Encoder<sub>٢</sub> فيتم بعثرتها باستخدام المبعثر الخاص بكل مرمز قبل دخولها وكما هو موضح بالشكل (١٢-١)، حيث يطلق على هذا المرمز بـ (مرمز توربو بـ n من الأبعاد (n-dimensional turbo Encoder) [٢٨][٣١][١٥].



شكل رقم (١٢-١) يوضح مرمز التوربو بـ n من الأبعاد

ينتج رمز التوربو بـ  $n$  من الأبعاد معدل ترميز واطئ وتعقيد في هيكل المرمز، بالإضافة إلى زيادة عدد بتات الفحص التي تتكون منها الكلمة المرزمة الناتجة ولمعدل الترميز  $1/3$  باستخدام اثنين من رمزات RSC بمولدين  $G=(7, 5)$  فان رمز التوربو يكون بالشكل الآتي:



ولزيادة معدل الترميز من  $1/3$  إلى  $1/2$  فيتم استخدام مصفوفة خاصة تسمى مصفوفة الحذف  $P$  (التي تقوم بحذف بتات من إحدى متسلسلاتي بتات فحص التماثل على التوالي)

$$P \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

وتعمل هذه المصفوفة كمفتاح (Switching) يسمح بامرار البت الأول من المتسلسلة الأولى  $Y'$  وحذف البت الأول من المتسلسلة الثانية  $Y''$  وتكون العملية معاكسة عند إدخال البت الثاني لمتسلسلة المعلومات... وهكذا. وبالنتيجة فان الكلمة المرزمة الناتجة تكون بالترتيب الآتي:

$$X_1, Y'_1, X_2, Y''_2, X_3, Y'_3, X_4, Y''_4, \dots$$

### المبعثر (٢-٤-١) Interleaver

يعتمد أداء ترميز التوربو على نوع المبعثر المستخدم  $[13]$ ، ويقوم المبعثر  $\pi$  بتغيير ترتيب البتات المدخلة إلى ترتيب آخر بالهيئة  $\pi(i) \rightarrow i$  بحيث يتم فصل الأخطاء المحتملة Burst error التي تحدث في المتسلسلة المرسله عبر قناة الاتصال وتحويلها من أخطاء غير قابلة للتصحيح إلى أخطاء قابلة للتصحيح.

يؤدي استخدام مبعثرات بحجم كبير  $N$  إلى تحسين في أداء ترميز التوربو، ولكن من جهة أخرى فإن ذلك يؤدي إلى كلفة في متطلبات المكونات المادية Hard Ware لعمليات البعثة Interleaving وإلغاء البعثة De- Interleaving بالإضافة إلى التأخير الذي يسببه. وفي بعض التطبيقات مثل (الصوت Voice والكلام Speech) الذي يعد التأخير Delay موضوعاً مهماً في اختيار حجم مقطع البيانات، يفضل استخدام مبعثرات بحجم قصير، وللحصول على الترتيب الأصلي للبيانات هناك ما سمي بـ (إلغاء البعثة) [٢٢].

### أنواع المبعثرات Types of Interleavers

هناك عدة أنواع للمبعثرات هي:

#### ١- المبعثر المقطعي Block Interleaver :

يعد هذا النوع من المبعثرات من أكثر الأنواع شيوعاً في أنظمة الاتصالات الرقمية. حيث يتم كتابة المصفوفة الخاصة بالمبعثر والمتكونة من  $N_1$  من الصفوف و  $N_2$  من الأعمدة صفاً بعد الآخر ثم قراءتها عموداً بعد الآخر ابتداءً من الزاوية العليا اليسرى من المصفوفة [٣١][٣٠]. ولتطبيق المبعثر المقطعي نستخدم المعادلة الآتية [٣٠]:

$$INT(i) = N_2 * i + \left[ i / N_1 \right] \text{ mod } N \quad \dots (٢٥-١)$$

حيث أن  $0 < i < N$  هو الفهرس،  $N$  هو حجم المبعثر (طول المتسلسلة). وباستخدام المتسلسلة الآتية بطول  $N=15$  يمكن تكوين مصفوفة بـ  $N_1=5$  و  $N_2=3$ .

$X_0$	$X_1$	$X_2$
$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_6$	$X_7$	$X_8$
$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$

وبذلك تكون نتيجة البعثة كالتالي:

الأصلية	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$
النتيجة	$X_0$	$X_3$	$X_6$	$X_9$	$X_{12}$	$X_1$	$X_4$	$X_7$	$X_{10}$	$X_{13}$	$X_2$	$X_5$	$X_8$	$X_{11}$	$X_{14}$

## ٢-المبعثر المقطعي المعكوس Reverse Block Interleaver :

وهو مشابه للمبعثر المقطعي فيما يخص استخدام مصفوفة وكتابتها صفا بعد الآخر، ولكن في هذا النوع تتم قراءة الاعمدة ابتداءً من الزاوية اليمنى السفلى.

وباستخدام نفس المتسلسلة بطول ١٥ فان نتيجة البعثة كالآتي:

الأصلية	X.	X <sub>١</sub>	X <sub>٢</sub>	X <sub>٣</sub>	X <sub>٤</sub>	X <sub>٥</sub>	X <sub>٦</sub>	X <sub>٧</sub>	X <sub>٨</sub>	X <sub>٩</sub>	X <sub>١٠</sub>	X <sub>١١</sub>	X <sub>١٢</sub>	X <sub>١٣</sub>	X <sub>١٤</sub>
النتيجة	X <sub>١٤</sub>	X <sub>١١</sub>	X <sub>٨</sub>	X <sub>٥</sub>	X <sub>٢</sub>	X <sub>١٣</sub>	X <sub>١٠</sub>	X <sub>٧</sub>	X <sub>٤</sub>	X <sub>١</sub>	X <sub>١٢</sub>	X <sub>٩</sub>	X <sub>٦</sub>	X <sub>٣</sub>	X.

وكما في النوع السابق فان هذا المبعثر يكون منتظماً.

تعد مسألة اختيار الاعمدة والصفوف لمصفوفة المبعثر المقطعي مسألة مهمة ويجب ان تاخذ بالحسبان [٢٣] ، وسنشير الى هذه المسألة لاحقاً.

## ٣-المبعثر العشوائي Random Interleaver :

يستخدم المبعثر العشوائي تبديلاً عشوائياً ثابتاً للسلسلة المدخلة [٣٠]. حيث يتم توليد ارقام مواقع البتات عشوائياً بدون تكرار لأي موقع. يعتمد المتغير على الارقام المتولدة عشوائياً فقد ينتج مبعثراً جيداً او قد لا يكون كذلك.

مثلاً قد يولد المبعثر العشوائي المتسلسلة الآتية بطول ١٥:

الأصلية	X.	X <sub>١</sub>	X <sub>٢</sub>	X <sub>٣</sub>	X <sub>٤</sub>	X <sub>٥</sub>	X <sub>٦</sub>	X <sub>٧</sub>	X <sub>٨</sub>	X <sub>٩</sub>	X <sub>١٠</sub>	X <sub>١١</sub>	X <sub>١٢</sub>	X <sub>١٣</sub>	X <sub>١٤</sub>
النتيجة	X <sub>١</sub>	X <sub>٧</sub>	X <sub>١٠</sub>	X <sub>٢</sub>	X <sub>١٣</sub>	X <sub>١٢</sub>	X <sub>٤</sub>	X <sub>٥</sub>	X <sub>٩</sub>	X <sub>٦</sub>	X <sub>٣</sub>	X <sub>١١</sub>	X <sub>١٤</sub>	X.	X <sub>٨</sub>

## ٤-المبعثر الحلزوني Helical Interleaver :

يعمل هذا المبعثر على المصفوفة المستخدمة نفسها في المبعثر المقطعي على شرط ان يكون عدد الصفوف والاعمدة عددين اوليين، ومن ثم يتم قراءة المصفوفة بصورة قطرية [٢٧] [٣٠] وحسب المعادلة الآتية:

$$INT(i) = ( ( i \bmod N_r ) + ( i * N_r ) ) \bmod N \quad \dots(٢٦-١)$$

وبذلك تكون المتسلسلة الناتجة باستخدام المعادلات المستخدمة في المبعثر المقطعي نفسها :

الأصلية	X.	X <sub>١</sub>	X <sub>٢</sub>	X <sub>٣</sub>	X <sub>٤</sub>	X <sub>٥</sub>	X <sub>٦</sub>	X <sub>٧</sub>	X <sub>٨</sub>	X <sub>٩</sub>	X <sub>١٠</sub>	X <sub>١١</sub>	X <sub>١٢</sub>	X <sub>١٣</sub>	X <sub>١٤</sub>
النتيجة	X.	X <sub>٤</sub>	X <sub>٨</sub>	X <sub>٩</sub>	X <sub>١٣</sub>	X <sub>٢</sub>	X <sub>٣</sub>	X <sub>٧</sub>	X <sub>١١</sub>	X <sub>١٢</sub>	X <sub>١</sub>	X <sub>٥</sub>	X <sub>٦</sub>	X <sub>١٠</sub>	X <sub>١٤</sub>

٥-مبعثر الازاحة الدائرية Circular Shifting Interleaver :

يخضع هذا النوع من المبعثرات لشروط معينة يجب تحقيقها لتطبيق معادلة البعثره الاتية

$$INT(i) = (a * i + S) \text{ mod } N \quad \dots(٢٧-١)$$

حيث ان:

a حجم الخطوة Step Size

S الازاحة Offset

ويتم اختيار a طبقا للشروط الاتية:

\* يجب ان يكون اقل من طول او حجم المبعثر  $a < N$

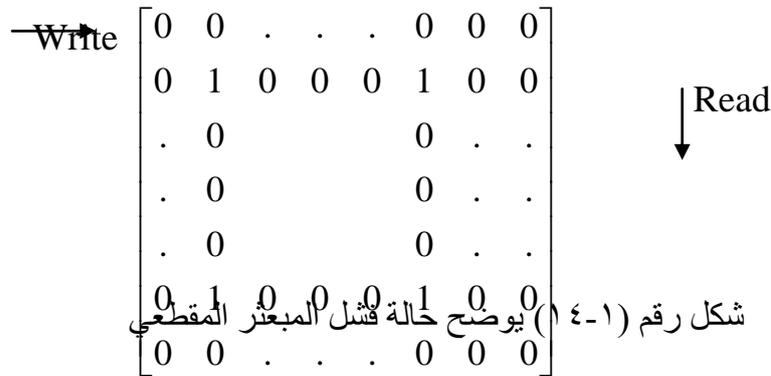
\* يجب ان يكونا a, N عددين اوليين نسبياً Relatively Prime بحيث ان  $GCD(a, N) = 1$

اذن المتسلسلة الناتجة باستخدام المعاملات السابقة نفسها و بقيم  $a = ٧$  و  $S = ٠$  هي:

الأصلية	X.	X <sub>١</sub>	X <sub>٢</sub>	X <sub>٣</sub>	X <sub>٤</sub>	X <sub>٥</sub>	X <sub>٦</sub>	X <sub>٧</sub>	X <sub>٨</sub>	X <sub>٩</sub>	X <sub>١٠</sub>	X <sub>١١</sub>	X <sub>١٢</sub>	X <sub>١٣</sub>	X <sub>١٤</sub>
النتيجة	X.	X <sub>٢</sub>	X <sub>١٤</sub>	X <sub>٦</sub>	X <sub>١٣</sub>	X <sub>٥</sub>	X <sub>١٢</sub>	X <sub>٤</sub>	X <sub>١١</sub>	X <sub>٣</sub>	X <sub>١٠</sub>	X <sub>٢</sub>	X <sub>٩</sub>	X <sub>١</sub>	X <sub>٨</sub>

وعلى هذا الاساس يجب ان يمتلك المبعثر القدرة على فصل المتسلسلات وقد يفشل المبعثر

في الحصول على متسلسلة جديدة كما موضح في الشكل الاتي [٢٧] :



وهذا يقودنا الى تعريف مهم وهو [٣٠] :

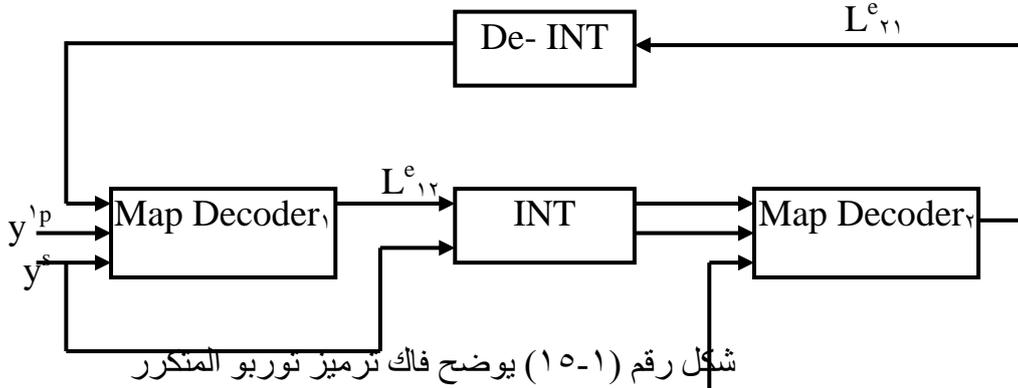
**تعريف/** يعرف المبعثر بأنه مبعثرأ ثابتاً Fix Interleaver اذا كانت المتسلسلة الناتجة بعد البعثة هي المتسلسلة الاصلية نفسها هذا يعني ان  $INT(i)=i$ .

وايضا يجب ان ناخذ بنظر الاعتبار عدد اعمدة المصفوفة المستخدمة في البعثة، فقد تحوي المتسلسلة المستلمة عدد من الاخطاء المحتمشة اكبر من عدد اعمدة المصفوفة وهذا يعني ان هناك قصور في اداء المبعثر [١٩].

### **(٣-٤-١) فاك ترميز التوربو Turbo Decoder**

يتم استخدام خوارزمية Maximum Posteriori Probabilities (MAP) في عملية فك ترميز التوربو. يعمل فاك ترميز التوربو بطريقة تكرارية، حيث يتم تنفيذ دارة Loop واحدة في وقت واحد [٢٥].

يتكون هيكل فاك ترميز التوربو من عدد من ال- Decoders مطابق لعدد المرمرات المستخدمة في جهة الارسال [٣١]. يقوم فاك الترميز الاول بفك ترميز المتسلسلة ثم يتم ارسال المعلومات المخمنة المطابقة لهذا القرار الى فاك الترميز التالي Next Decoder [٢٢][١٦]. وكما موضح في الشكل (١٥-١):



تستخدم خوارزمية MAP في عملية فك ترميز التوربو التي تعطي عدد حقيقي كمخرج وهو مقياس لاحتمالية القرار الصحيح.

سيتم في الفقرة الاتية شرح مفصل لعمل هذه الخوارزمية باستخدام التعريفات الاتية:

المرمز الاول:  $E_1$

المرمز الثاني:  $E_2$

فاك الترميز الاول:  $D_1$

فاك الترميز الثاني:  $D_2$

ذاكرة المرمر:  $m$

مجموعة لكل حالات المرمر:  $S$

$$X^S: (x_1^S, x_2^S, \dots, x_N^S) = (u_1, u_2, \dots, u_N)$$

$$X_p = (x_1^P, x_2^P, \dots, x_N^P)$$

هي كلمة فحص التماثل المتولدة من المرز

$$y_k = (x_k^S, y_k^P)$$

الهيئة المتولدة بعد حدوث الضوضاء المطابقة لـ  $(x_k^S, x_k^P)$ .

$$Y = Y_1^N = (y_1, y_2, \dots, y_N)$$

الكلمة المرزوة المستلمة بوجود الضوضاء.

يعتمد قرار فك الترميز على الشرط الآتي:

$$u_k = \begin{cases} +1 & \text{If } P(u_k = +1 | y) > P(u_k = -1 | y) \\ -1 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

حيث ان  $u_k$  هو بت البيانات في الزمن  $k$  ، اذن القرار المخمن :

$$\hat{u}_k = \text{sign} [L(u_k)] \quad \dots(28-1)$$

حيث ان  $\hat{u}_k$  هو البت المخمن بعد فك الترميز في الزمن  $k$  ،  $[L(u_k)]$  هو LLR الذي

يحسب من المعادلة الآتية:

$$L(u_k) = \text{Log} \left( \frac{\sum_{S^+} \tilde{\alpha}_{k-1}(s') * \gamma_k(s', s) * \beta'_k(s)}{\sum_{S^-} \tilde{\alpha}_{k-1}(s') * \gamma_k(s', s) * \beta'_k(s)} \right) \quad \dots(29-1)$$

حيث ان  $S_k \in S$  هي حالة المرز في الزمن  $k$  ،  $S^+$  هي مجموعة من الزوج  $(s', s)$

المطابقة لكل انتقالات الحالة  $(S_{k-1} = s') \rightarrow (S_k = s)$  التي تتم بادخال  $u_k = +1$  و  $s'$  في حالة الادخال

$u_k = -1$  ،  $\alpha$  هو مقياس التكرار الأمامي Forward Recursion Metric و  $\beta$  هو مقياس

التكرار الخلفي Backward Recursion Metric و يتم حسابها باستخدام المعادلتين الآتيتين

على التوالي:

$$\tilde{\alpha}_k(s) = \text{Log} \left( \frac{\sum_{S^-} \tilde{\alpha}_{k-1}(s') * \gamma_k(s', s)}{\sum_{S^+} \tilde{\alpha}_{k-1}(s') * \gamma_k(s', s)} \right) \quad \dots(30-1)$$

$$\tilde{\beta}_{k-1}(s') = \text{Log} \left( \frac{\sum_{S^+} \tilde{\beta}_k(s) * \gamma_k(s', s)}{\sum_{S^-} \tilde{\beta}_k(s) * \gamma_k(s', s)} \right) \quad \dots(31-1)$$

### فك ترميز MAP المتكرر Iterative MAP Decoding

ولكن بالنسبة لفاك الترميز المتكرر Iterative decoder، فان  $D_1$  (فاك الترميز الاول) يشتق المعلومات الخارجية Extrinsic او المرنة Soft لكل بت  $u_k$  من فاك الترميز الثاني  $D_2$  حيث يقوم  $D_1$  بمعالجتها كمعلومات سابقة . وبصورة مشابهة يكون الحال بالنسبة لـ  $D_2$  الذي يعالج المعلومات الخارجة من  $D_1$ ، وتستمر العملية التكرارية كالاتي

$$D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow \dots$$

الفكرة الأساس للمعلومات الخارجية هو ان فاك الترميز  $D_2$  يمرر معلومات مرنة الى  $D_1$  لكل بت  $u_k$  باستخدام فقط المعلومات غير المتوفرة بالنسبة لـ  $D_1$  (أي بتات فحص التماثل  $E_2$ ) وكذلك الحال بالنسبة لـ  $D_1$ .

ولاستخلاص المعلومات الخارجية من فاك الترميز الموضحة في المعادلة رقم (٢٩-١) يجب حساب  $\gamma_k(s', s)$  من المعادلة الآتية :

$$\gamma(s', s) = \exp \left[ \frac{1}{2} u_k L^e(u_k) + L_c y_k^s \right] * \gamma_k^e(s', s) \quad \dots(٣٢-١)$$

حيث ان  $L_c$  هي مرونة القناة Channel Reliability، وتحسب كالاتي :

$$L_c = 4 \frac{E_c}{N_0} \quad \dots(٣٣-١)$$

و  $E_c$  هي طاقة لكل بت في القناة والتي تنتج من حاصل ضرب طاقة كل بت من بتات المصدر في معدل الترميز  $R$ .

$$E_c = R * E_s$$

اما

$$\gamma_k^e(s', s) = \exp \left[ L_c y_k^p x_k^p \right] \quad \dots(٣٤-١)$$

اذن باستخدام المعادلتين نحصل على:

$$L(u_k) = \text{Log} \left( \frac{\sum_{s'} \tilde{\alpha}_{k-1}(s') * \gamma_k^e(s', s) * \beta'_k(s) * C_k}{\sum_{s'} \tilde{\alpha}_{k-1}(s') * \gamma_k^e(s', s) * \beta'_k(s) * C_k} \right) \quad \dots(٣٥-١)$$

حيث ان

$$C_k = \exp \left[ \frac{1}{2} u_k (L^e(u_k) + L_c y_k^s) \right] \quad \dots(٣٦-١)$$

وبالنتيجة نحصل على:

$$L(u_k) = L_c y_k^s + L^e(u_k) + \text{Log} \left( \frac{\sum_{s'} \tilde{\alpha}_{k-1}(s') * \gamma_k^e(s', s) * \beta'_k(s)}{\sum_{s'} \tilde{\alpha}_{k-1}(s') * \gamma_k^e(s', s) * \beta'_k(s)} \right) \dots (37-1)$$

يمثل الحد الاول من المعادلة قيمة القناة Channel Value اما الحد الثاني فيمثل المعلومات السابقة a priori Information عن  $u_k$  من فاك الترميز السابق، والحد الثالث يمثل المعلومات الخارجية التي تمرر فيما بعد الى فاك الترميز التالي. وهكذا، فان لكل تكرار يقوم فاك الترميز الاول  $D_1$  بحساب:

$$L_1(u_k) = L_c y_k^s + L_{21}^e(u_k) + L_{12}^e(u_k) \dots (38-1)$$

حيث ان  $L_{21}^e(u_k)$  هي المعلومات الخارجية التي تمرر من  $D_2$  الى  $D_1$ ،  $L_{12}^e(u_k)$  الذي يمثل الحد الثالث في المعادلة (37-1) فيستخدم كمعلومات خارجية من  $D_1$  و  $D_2$ .

وعلى اية حال فان فاك الترميز يجب ان يملك معرفة كاملة بالمخطط الشبكي لمكونات المرمز (أي ان فاك الترميز يجب ان يملك جدول او (مصفوفة) تتضمن بتات الادخال، وبتات الفحص لكل انتقالات الحالة الممكنة بالإضافة إلى المعرفة بدوال البعثرة والغاء البعثرة  $INT [.]$  و  $De-INT [.]$  على التوالي.

ولكلا المرمزين هناك قيما ابتدائية يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار عند بدء خطوات فك الترميز، وحسب الاتي:

بالنسبة لفاك الترميز الاول  $D_1$ :

$$- L_{21}^e(u_k) = 0 \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, N$$

$$- \tilde{\alpha}_0^{(1)}(s) = 1 \quad \text{for } s = 0 \\ = 0 \quad \text{for } s \neq 0$$

$$- \tilde{\beta}_N^{(1)}(s) = 1 \quad \text{for } s = 0 \\ = 0 \quad \text{for } s \neq 0$$

بالنسبة لفاك الترميز الثاني  $D_2$ :

$$\begin{aligned} -\tilde{\alpha}_0^{(2)}(s) &= 1 & \text{for } s = 0 \\ &= 0 & \text{for } s \neq 0 \end{aligned}$$

$$-\tilde{\beta}_N^{(2)}(s) = \tilde{\alpha}_N^{(2)} \quad \text{for all } s$$

حيث ان  $N$  هو طول متسلسلة البيانات .

## الفصل الثاني

### تصميم النظام المقترح للترميز

#### (١-٢) الهيكل العام للنظام المقترح:

يتناول هذا الفصل شرحاً مفصلاً للنظام المقترح للترميز وفك الترميز والذي يتكون من عدة مراحل أساساً ابتداءً من إدخال البيانات الواجب إرسالها وانتهاءً بقرار فك الترميز للحصول على المتسلسلة الناتجة ومطابقتها مع المتسلسلة الأصلية .

يتضمن الهيكل العام للنظام المقترح عدة مراحل أولها هي مرحلة إدخال البيانات ومن ثم اختيار طريقة الترميز المطلوبة وكيفية إضافة الضوضاء إلى هذه البيانات بنسبة خطأ معينة يتم إدخالها من قبل المستخدم أو توليدها عشوائياً باستخدام الدالة ( ) Rand ، يلي ذلك اختيار طريقة فك الترميز المطابقة لطريقة الترميز التي تم اختيارها سابقاً ثم إجراء المطابقة بين البيانات الناتجة والبيانات الأصلية لغرض حساب نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز ، ومن ثم يتم تقويم أنظمة الترميز المستخدمة بالاعتماد على قابلية التصحيح لكل طريقة مقارنة ببقية الطرائق .

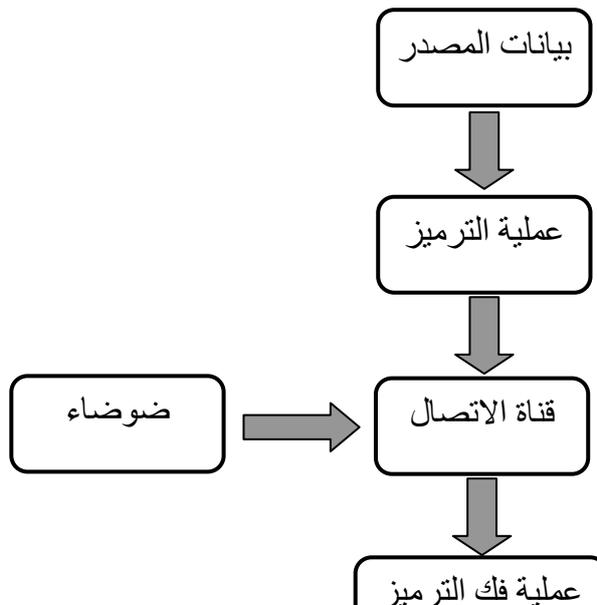
ويعتمد طول بتات الكلمة المرزمة على الطريقة التي تم اختيارها في عملية الترميز والمعالم الخاصة بها ، وعلى هذا الأساس فإن معدل الترميز يكون مختلفاً من طريقة إلى أخرى حيث أن معدل الترميز R يتم حسابه من المعادلة الآتية :

$$R = k / n$$

حيث أن: k عدد بتات البيانات

n عدد بتات الكلمة المرزمة

يوضح الشكل (١-٢) الهيكل العام للنظام للترميز :



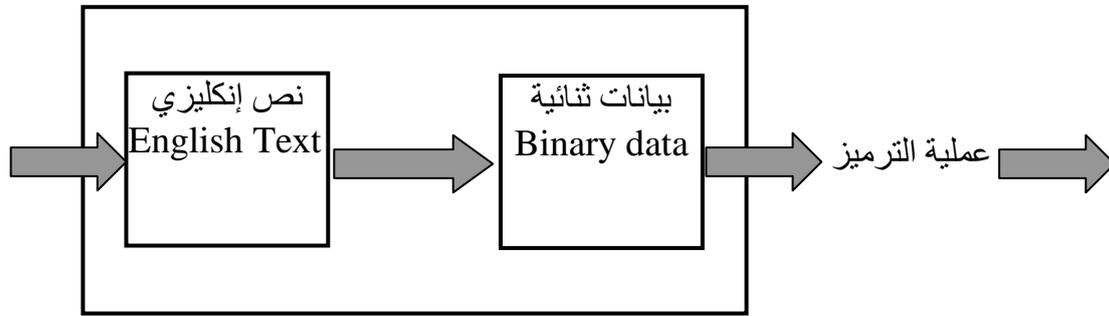
شكل رقم (٢-١) يمثل هيكل النظام المقترح

وفيما يأتي شرح مفصل لوحدة النظام:

### (٢-١-١) بيانات المصدر

هناك العديد من مصادر المعلومات التي يمكن التعامل معها لبدء خطوات النظام، فقد تكون بيانات متولدة بواسطة الآلة مثل (الصور، بيانات ملف) أو بواسطة الإنسان مثل (الكلام). وهنا تم بدء خطوات النظام بأدخال عبارة انكليزية كبيانات مصدر ومن ثم تم تحويلها الى بيانات بهيئة ثنائية (أي بقيم ٠ و ١) بالاعتماد على جدول ASCII بحيث ان كل حرف من حروف العبارة يتم تحويله الى سبع بتات . وبذلك يكون العدد الكلي لبتات الرسالة المطلوب ترميزها هو (عدد رموز العبارة \* ٧) .

يوضح الشكل رقم (٢-٢) بيانات المصدر :



بيانات المصدر  
شكل رقم (٢-٢) يمثل بيانات المصدر

### (٢-١-٢) عملية الترميز

يتم اولا تحديد نوع الترميز المطلوب تنفيذه ، ثم تنجز عملية الترميز بالاعتماد على المعالم الخاصة بكل نوع .

يتضمن النظام نوعين من الترميز هما : ترميز ذو المرحلة الواحدة بتنفيذ الدالة

(one\_stage-code) والترميز الترابطي باستخدام الدالة (concatenated\_code)

والنوع الاول بدوره يتضمن نوعي الترميز (المقطعي والالتفافي ) اما النوع الثاني فيتضمن نوعي الترابط (التقليدي والتوربو) .

وبعد اختيار نوع الترميز المطلوب تنفيذه، تنجز عملية الترميز لكل نوع حسب المعلمات الخاصة به.

١-ترميز ذو المرحلة الواحدة/ يتضمن هذا النوع من الترميز نوعين هما:

### أ-الترميز المقطعي

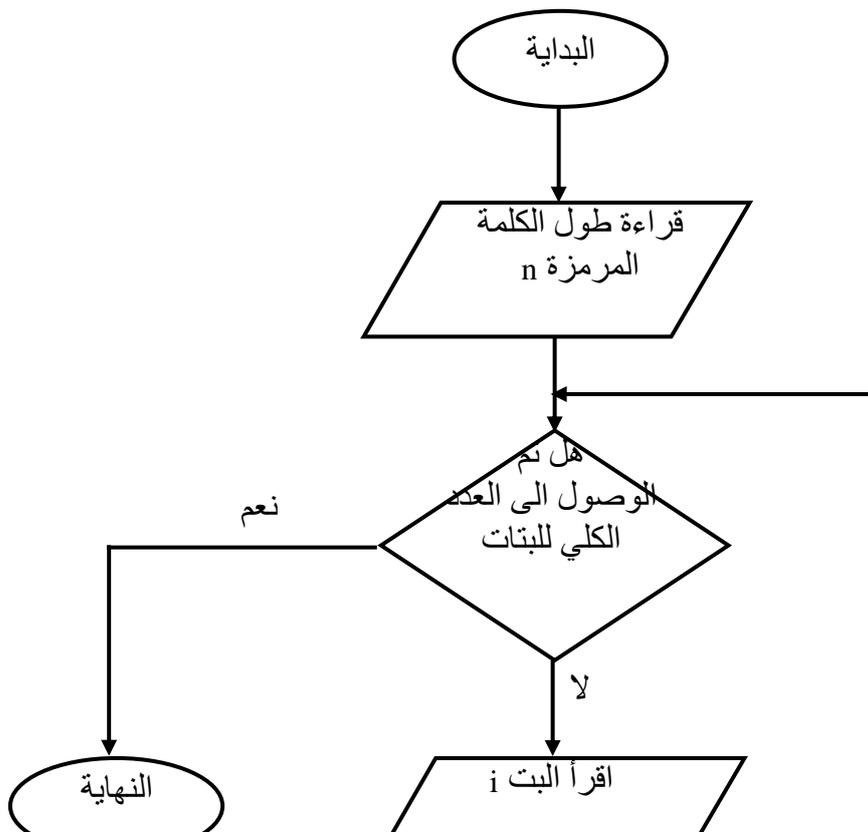
تقسم البيانات في هذا النوع من الترميز الى عدد من المقاطع لكل منها  $k$  من البتات، ومن ثم ترميز كل مقطع بيانات الى كلمة مرمزة بطول  $n$  من البتات. تتم هذه العملية بالاعتماد على الطريقة المستخدمة في الترميز.

يتضمن الترميز المقطعي الأنواع الآتية المستخدمة في البحث:

١-ترميز التكرار:

يسمح هذا النوع من الترميز باضافة كمية من بتات فحص التماثل الى بت بيانات واحدة لتنتج كلمة مرمزة بطول  $n$  من البتات. حيث ينتج كلمتين مرمزتين فقط هما  $0 \dots 0$  اذا كان بت البيانات المدخل  $0$  و  $1 \dots 1$  اذا كان بت البيانات المدخل  $1$ .  
تم تجربة طول كلمة مرمزة فردي  $(3, 5, 7)$  وطول كلمة مرمزة زوجي  $(2, 4, 6)$  ومقارنة النتائج مع بعضها كما سنلاحظ في الفصل الثالث .

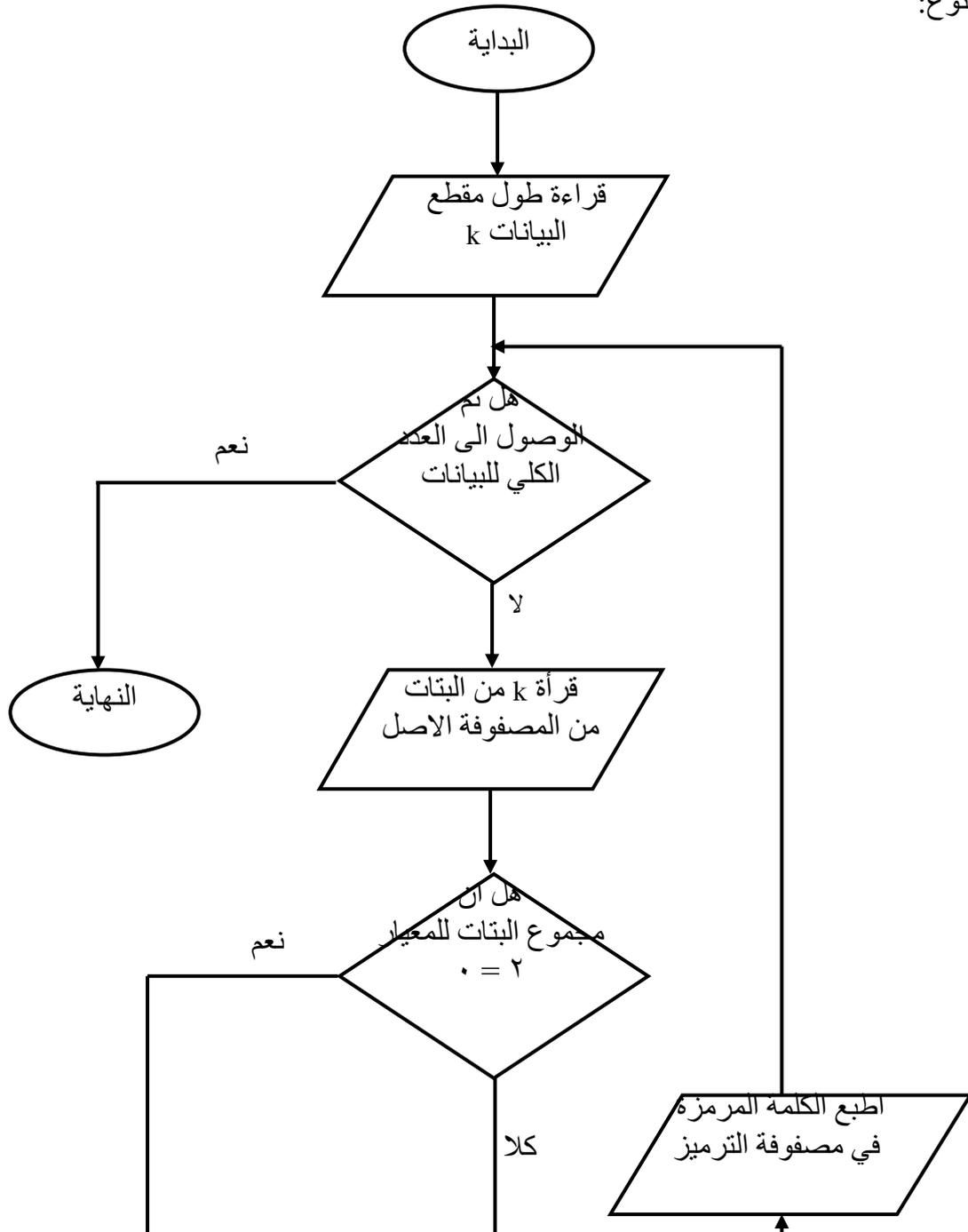
يوضح الشكل (٢-٣) المخطط الانسيابي لعملية الترميز الخاصة بهذا النوع:



شكل رقم (٢-٣) يوضح المخطط الانسيابي لترميز التكرار

٢- ترميز فحص التماثل المفرد:

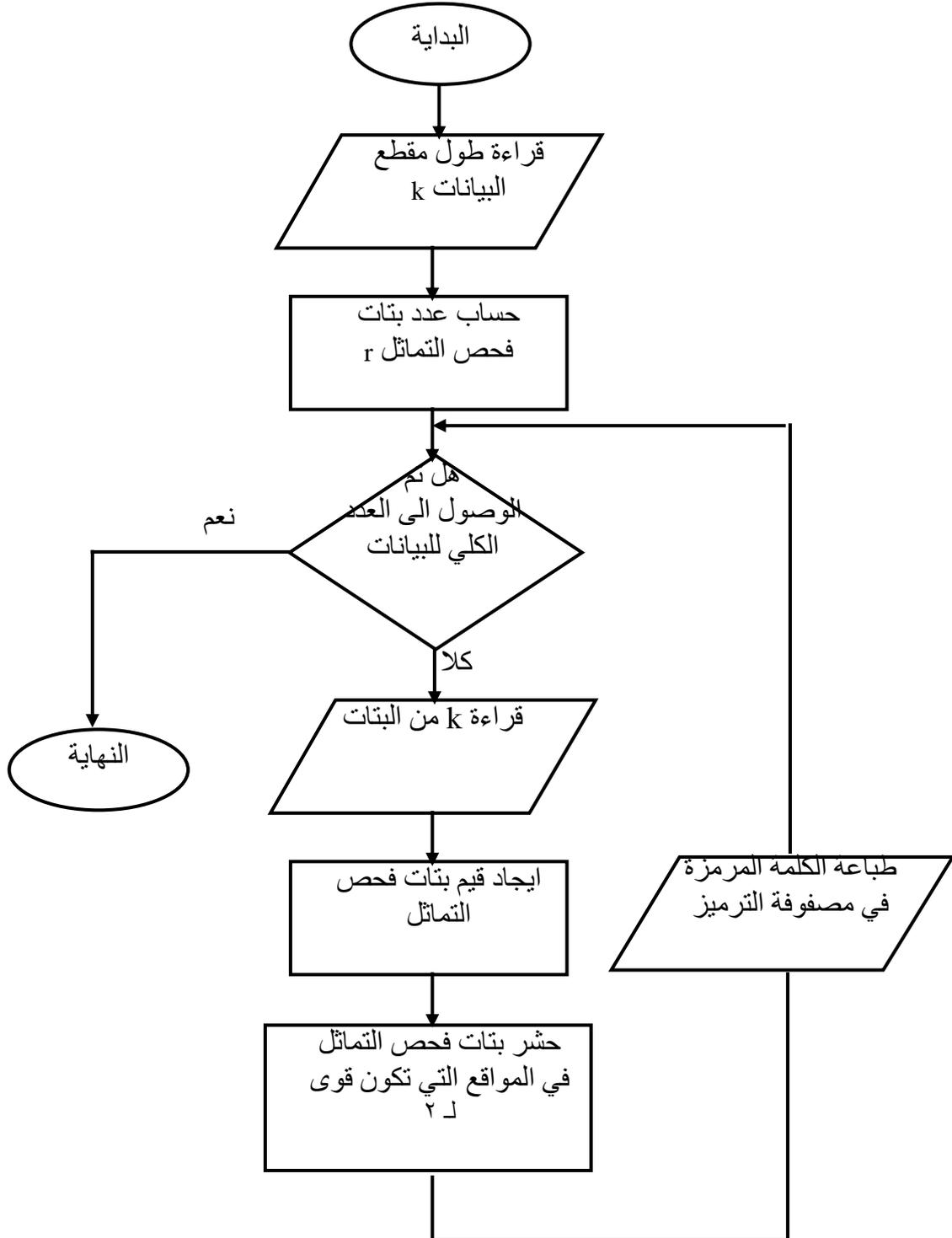
هذا النوع من الترميز لا يحتاج الى كلفة في الخزن ويُعد من الترميزات المقطعية البسيطة. حيث تقسم بنات الرسالة الى عدد من المقاطع لكل منها  $k$  من البتات اما الكلمة المرزمة الناتجة فتكون بطول  $k+1$  يوضح الشكل (٢-٤) المخطط الانسيابي لعملية الترميز الخاصة بهذا النوع:



شكل رقم (٢ - ٤) يوضح المخطط لترميز فحص التماثل

## ٣-ترميز هامنك:

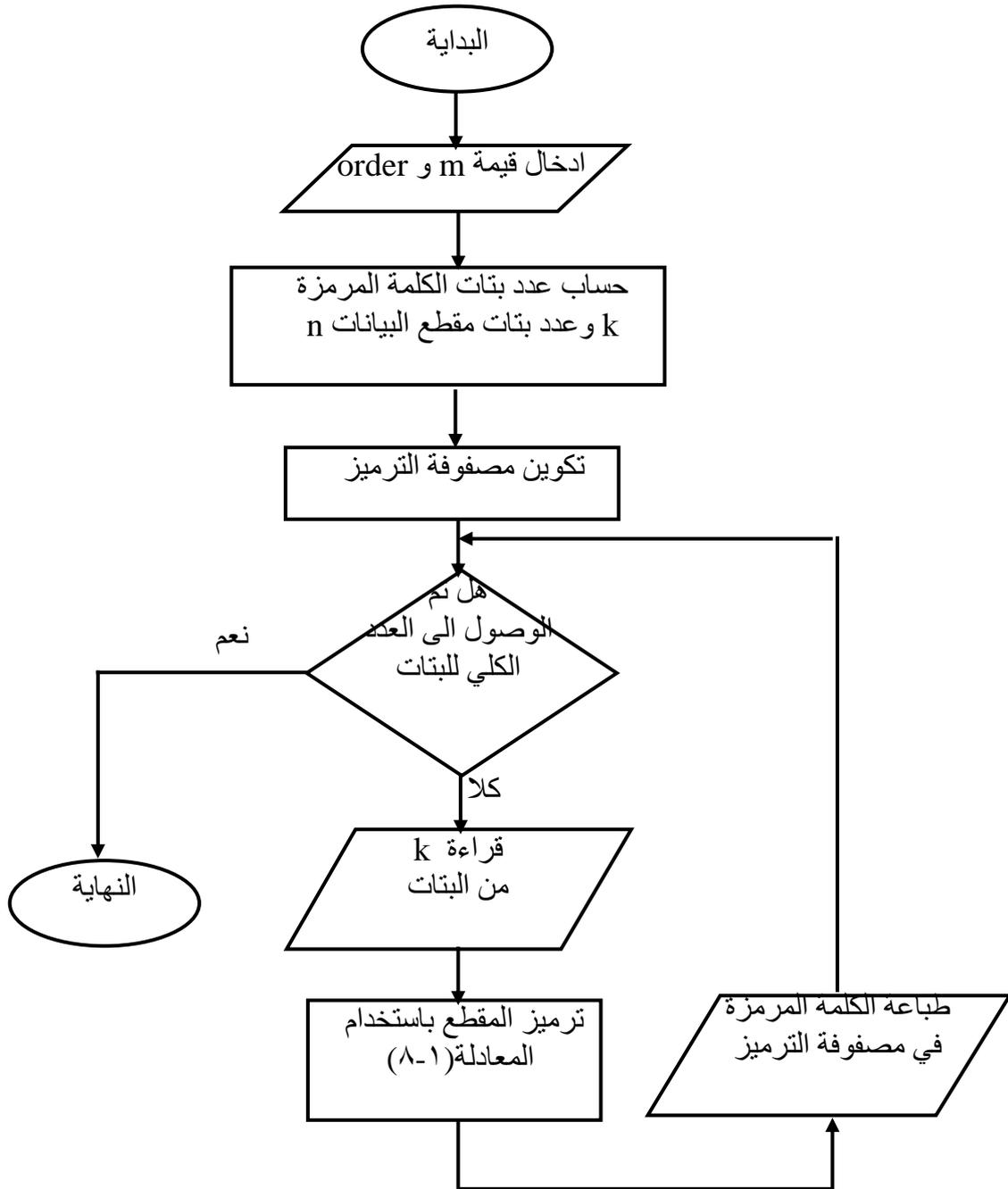
تتم عملية الترميز في هذا النوع بالاعتماد على طول مقطع البيانات التي يتم من خلالها تحديد عدد بتات فحص التماثل لتكوين الكلمة المرزمة الناتجة باستخدام المعادلة (٥-١) المذكورة بالفصل الاول . يوضح الشكل (٥-٢) المخطط الانسيابي لعملية الترميز.



شكل رقم (٥ - ٢) يوضح المخطط الانسيابي لترميز هامينك

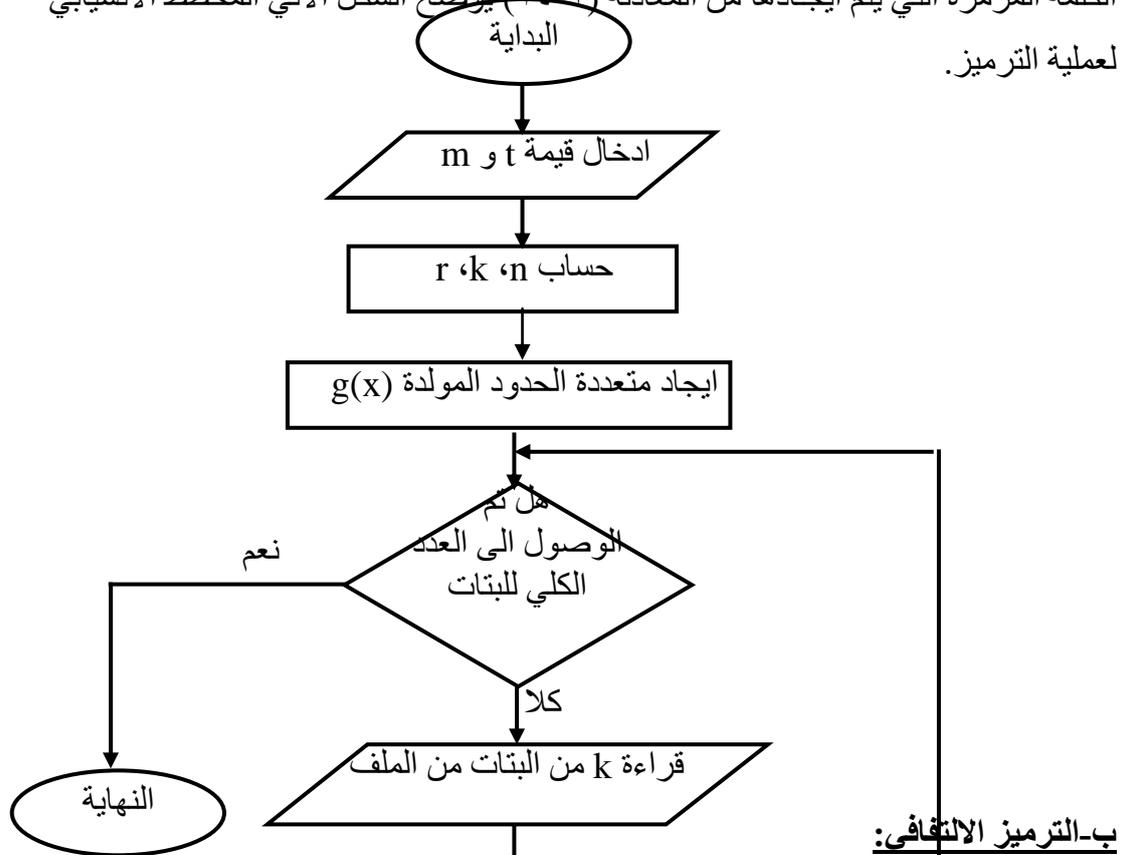
## ٤-ترميز ريد- مولر:

يتطلب هذا النوع من الترميز ادخال قيمة لعدد صحيح موجب هو  $m$  وبذلك يتم حساب  $n$  (طول الكلمة المرزمة) حيث ان  $n = 2^m$  وقيمة رتبة الترميز Order لحساب  $k$  وهي عدد بتات مقطع البيانات من المعادلة (٧-١) ، وكذلك تكوين مصفوفة الترميز، اما عملية الترميز فتتم باستخدام المعادلة (٨-١). يوضح الشكل (٦-٢) المخطط الانسيابي لعملية الترميز:

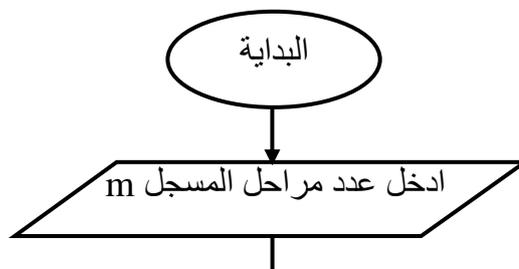


شكل رقم (٦ - ٢) يوضح المخطط الانسيابي لترميز ريد- مولر

٥-ترميز BCH: يحسب طول مقطع البيانات  $k$  بالاعتماد على  $m$  (عدد صحيح موجب) وعلى قابلية تصحيح الخطأ  $t$  الخاصة بالنظام وكذلك عدد بتات فحص التماثل  $r$  وبتات الكلمة المرزمة حيث ان عدد بتات فحص التماثل تحسب بالاعتماد على  $r \leq m * t$ . يتطلب هذا النوع من الترميز معرفة متعددة الحدود الاولية المستخدمة في تكوين حقل كالوس ، وايضا يتطلب تكوين حقل كالوس بالاعتماد على قيمة  $m$  المدخلة وعلى متعددة الحدود الاولية ، ثم ايجاد متعددة الحدود المولدة لهذا الترميز من المعادلة (١١-١). يتم اجراء عملية الترميز بالاعتماد على المعادلة (١٣-١) التي تحسب بتات فحص التماثل المطلوب اضافتها الى بتات الرسالة لتنتج الكلمة المرزمة التي يتم ايجادها من المعادلة (١٤-١) يوضح الشكل الاتي المخطط الانسيابي لعملية الترميز.



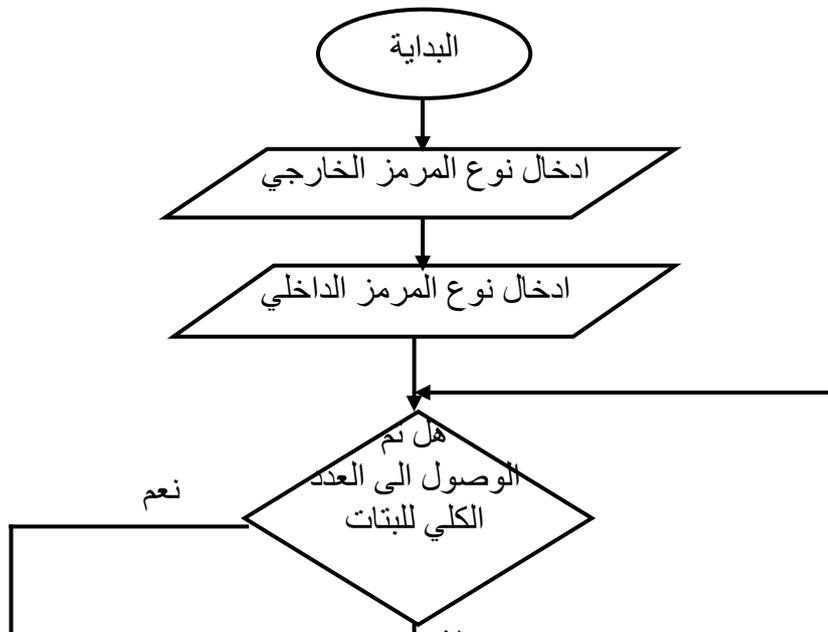
يستخدم هذا النوع  $k$  من مسجل الازاحة (في التماثل) الادخال) و  $n$  من المخرجات طباعه الكلمة المرزمة  $m$  مفي ملف التوسيزول الازاحة وتعتمد عملية الترميز على طريقة ربط مسجل الازاحة أي (متعددة الحدود المولدة لهذا الترميز)، حيث ان كلمة الترميز من مراحل مسجل الازاحة  $m$  وادخال متعددات الحدود المولدة لهذا الترميز بالهيئة الثنائية (١٤-١) المعادلة (١٤-١) وهنا تم العمل على مدخلات  $k=1$  أي استخدام مسجل إزاحة واحد باستخدام معادلة الترميز (١٦-١) في عملية الترميز) يوضح الشكل الاتي المخطط الانسيابي لعملية الترميز.



## ٢- ترميز الترابط:

تم استخدام طريقتين لترميز الترابط في هذا البحث.  
شكل رقم (٢- ٨) يوضح المخطط الانسيابي للترميز الالتفافي  
أ- ترميز ترابطي تقليدي:

يعتمد هذا النوع من الترابط على اختيار اثنين من الرموزات (المذكورة سابقاً) والمرتبطة بصورة متسلسلة Serial بحيث ان احد المرمرزين يكون مرمرزا خارجيا والاخر مرمرزا داخليا. حيث يتم ترميز بتات البيانات باستخدام الترميز الخارجي اولا وحسب المعالم الخاصة به ، بعد ذلك يتم بعثرة مخرجات المرمرز الاول (الخارجي) باستخدام المبعثر المقطعي ومن ثم يتم ترميز البيانات الناتجة من عملية البعثرة مرة اخرى باستخدام المرمرز الثاني (الداخلي) . يوضح الشكل الاتي المخطط الانسيابي لانجاز هذا الترابط.





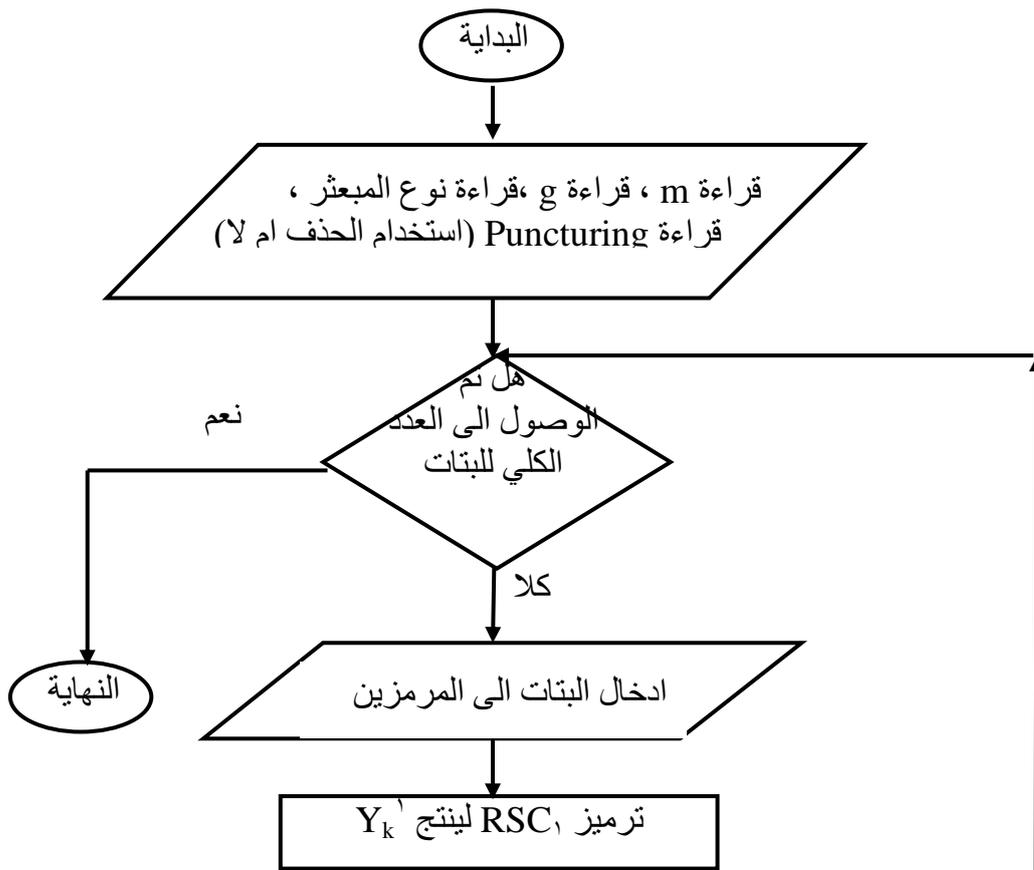
ب- ترميز ترابطي التفاضلي متوازي (ترميز التوربو):

يختلف هذا النوع من الترابط عن سابقه، حيث يستخدم هذا النوع اثنين من المرمزات الالتفافية المرتبطة بصورة متوازية.

يتم في هذا النوع تحديد متعددتي الحدود المولدة  $g$  (الامامية Foreword والعكسية Feedback) المستخدمتين في المرمز الالتفافي التكراري. وايضا تحديد عدد وحدات الذاكرة  $m$  المستخدمة لكل مرمز (وعادة يكونان متماثلين). بالإضافة الى تحديد نوع الترميز المستخدم بوجود حذف ام لا Puncturing ويتم استخدام المصفوفة  $P$  لهذا الغرض.

ويتطلب هذا الترميز جدولا بالمدخلات والمخرجات والحالة الحالية والحالة التالية لكل

مدخل لاستخدامه في عمليتي الترميز وفك الترميز . وكذلك يتطلب معرفة بدوال البعثة وانواعها المستخدمة والمعادلات الخاصة بكل نوع ودوال إلغاء البعثة المطابقة لكل نوع ،حيث تم استخدام رمزا باربع حالات لكل من مكونات المرمز باستخدام نفس متعددتي الحدود المولدة لكليهما ، وبمعدل ترميز  $(1/2)$  مرة و  $(1/3)$  مرة ثانية .  
يوضح الشكل الآتي المخطط الانسيابي لهذا النوع من الترابط.



شكل رقم (٢- ١٠) يوضح المخطط الانسيابي لترميز التوربو

(٢-١-٣) قناة الاتصال:

عندما تنتقل البيانات عبر القناة فان البيانات المستلمة قد تكون محتوية على اخطاء:

$$r(x) = c(x) + e(x) \dots (١-٢)$$

حيث ان  $r(x)$  هي الكلمة المستلمة.

$c(x)$  الكلمة المرزمة.

$e(x)$  الخطأ الذي تسببه القناة.

تم استخدام قناة ضوضاء كاوسية Gaussian Noise Channel في عملية المحاكاة. يتم حساب التباين  $\sigma$  deviation لكل نسبة اشارة الى ضوضاء Signal to Noise Ratio SNR، من المعادلة الاتية:

$$\dots (٢-٢)$$

ومن ثم يتم اضافتها الى رموز القناة المرزمة.  $\sigma = 1/\sqrt{\text{SNR}}$  وقد تم اضافة الضوضاء الى القناة باختيار نسبة خطأ معينة (٥% و ١٠% و ٢٠% و ٣٠%) حيث يتم توليد الخطأ باستخدام الدالة العشوائية .

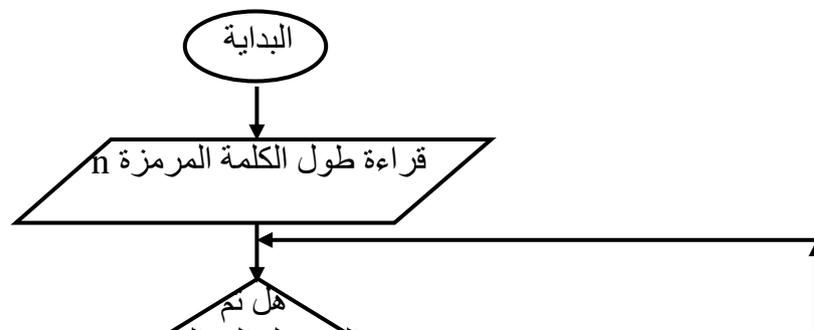
(٢-١-٤) عملية فك الترميز

تستخدم هذه المرحلة (التي تعد المرحلة المهمة و الاكثر صعوبة في النظام) طريقة فك الترميز الخاصة بنوع الترميز الذي تم اختياره في المرحلة السابقة وحسب الانواع المدرجة ادناه :

١- فك ترميز المرحلة الواحدة/يشمل هذا النوع :

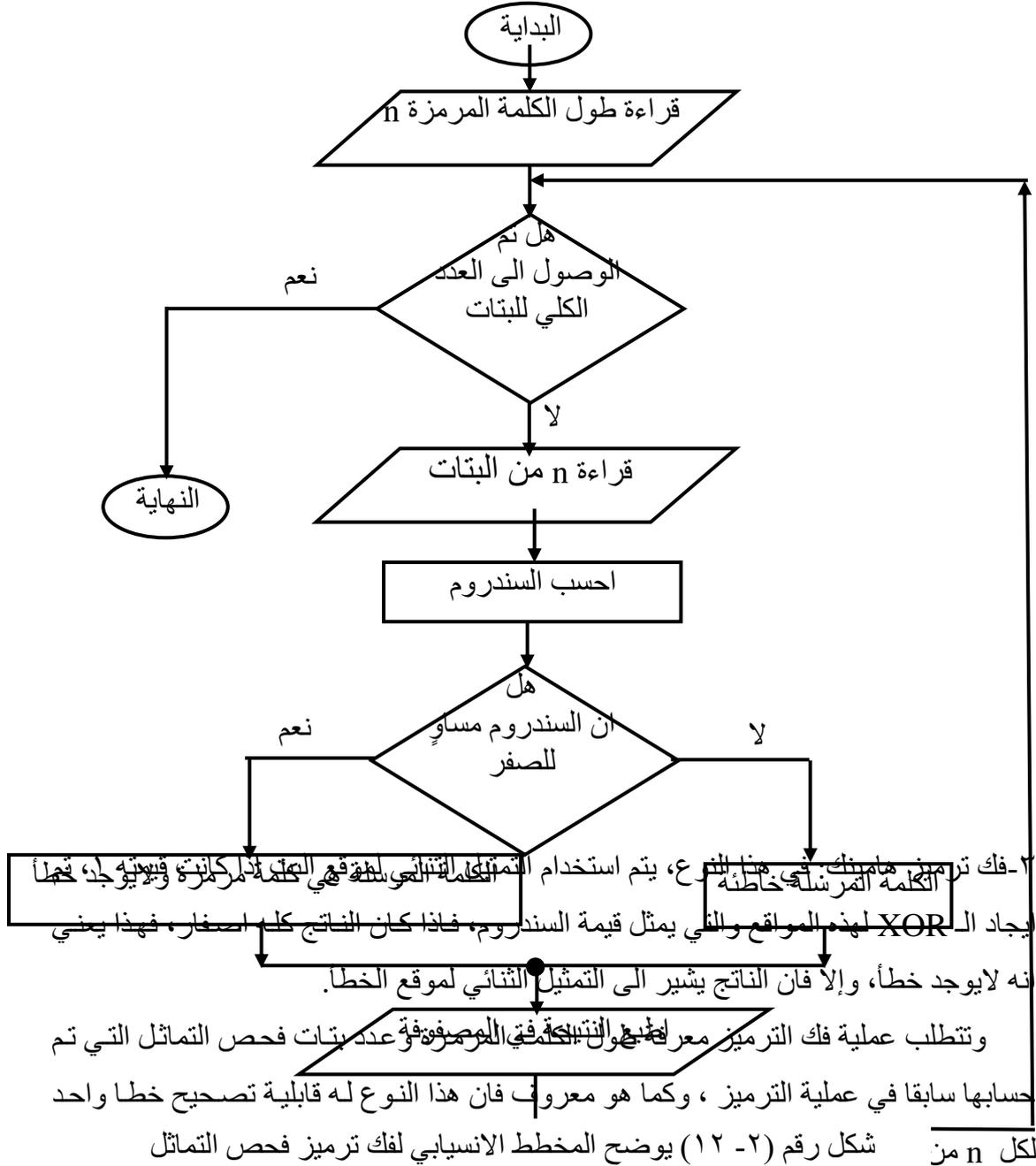
أ- فك الترميز المقطعي: بصورة عامة، يتم عملية اجراء فك الترميز باستخدام الطريقة الخاصة بكل نوع:

١- فك ترميز التكرار: يستخدم هذا النوع مصفوفة فحص التماثل H الموضحة في الفصل الاول في عملية فك الترميز، حيث يتم ضرب متجه الكلمة المستلمة في المصفوفة H فاذا كان الناتج صفريا، هذا يعني ان الكلمة المستلمة هي كلمة مرزمة ولا تحوي على اية اخطاء، اما اذا كان غير ذلك فهذا يعني ان هناك خطأ ما قد حدث، ويعتمد القرار على اغلبية الرموز اذا كانت اصفارا او واحدات . يوضح الشكل الاتي المخطط الانسيابي لعملية فك الترميز .

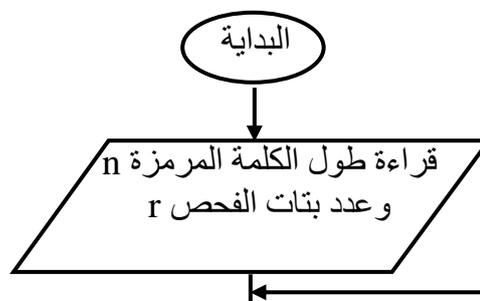


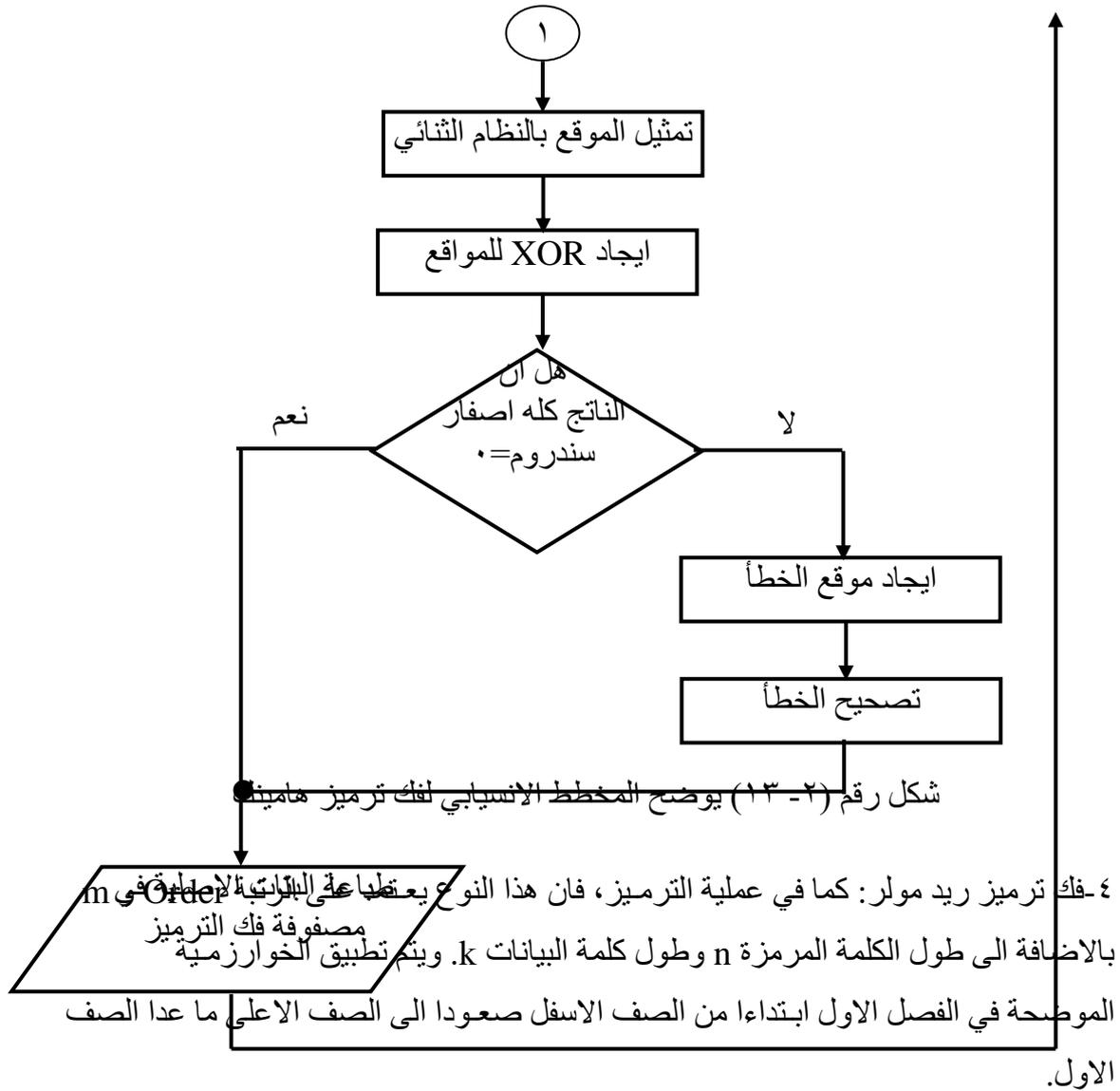
٢- فك ترميز فحص التماثل: يعد هذا النوع الاقل كفاءة في انظمة الاتصالات الرقمية، تتم عملية فك الترميز بحساب قيمة السندروم من المعادلة رقم (١-٤)، وتعد الكلمة المستلمة كلمة مرمزة وخالية من الاخطاء اذا كان السندروم صفرا وإلا فهذا يعني وجود اخطاء اثناء النقل.

يوضح الشكل الاتي المخطط الانسيابي لعملية فك الترميز:

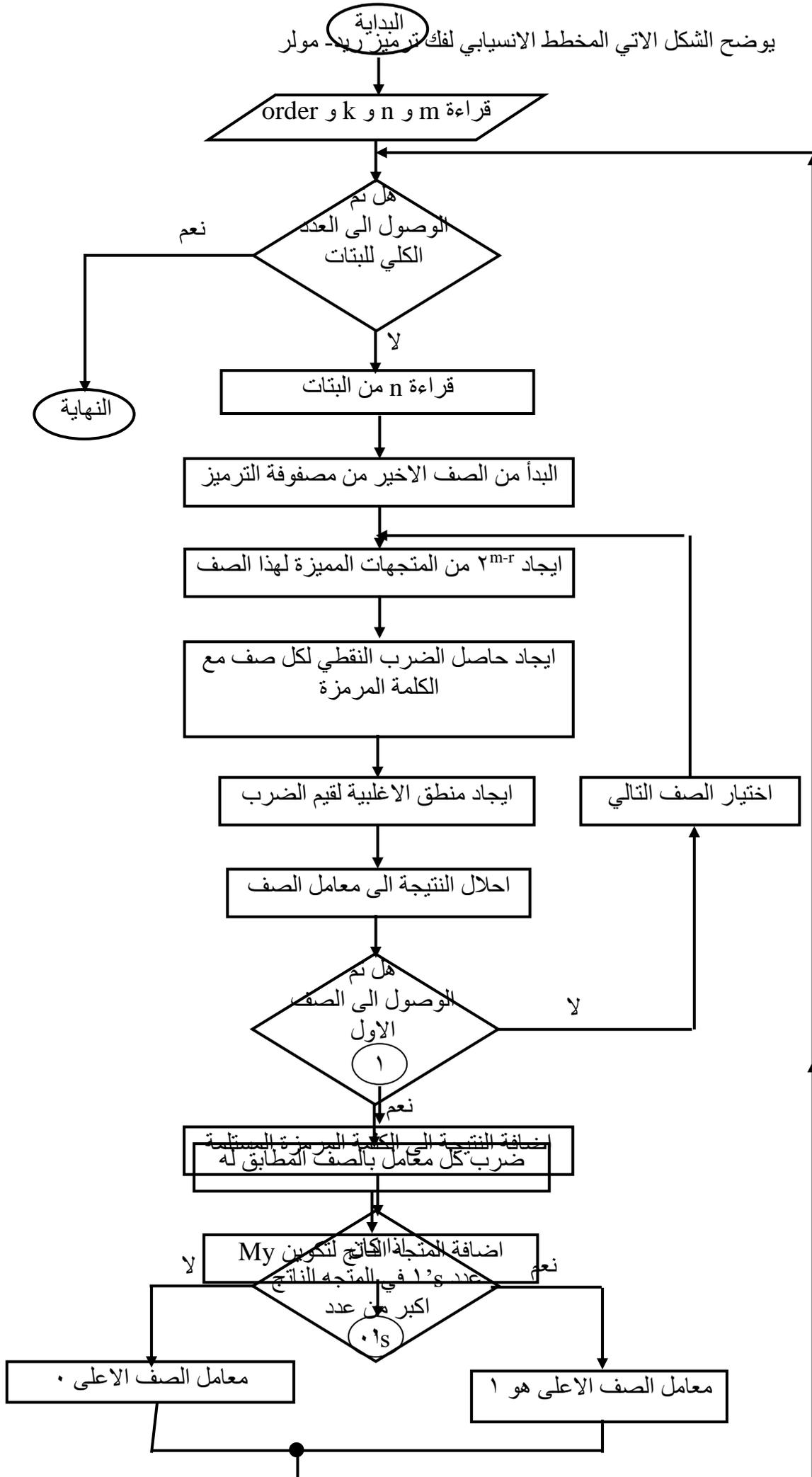


يوضح الشكل الاتي المخطط الانسيابي لفك ترميز هامانك:



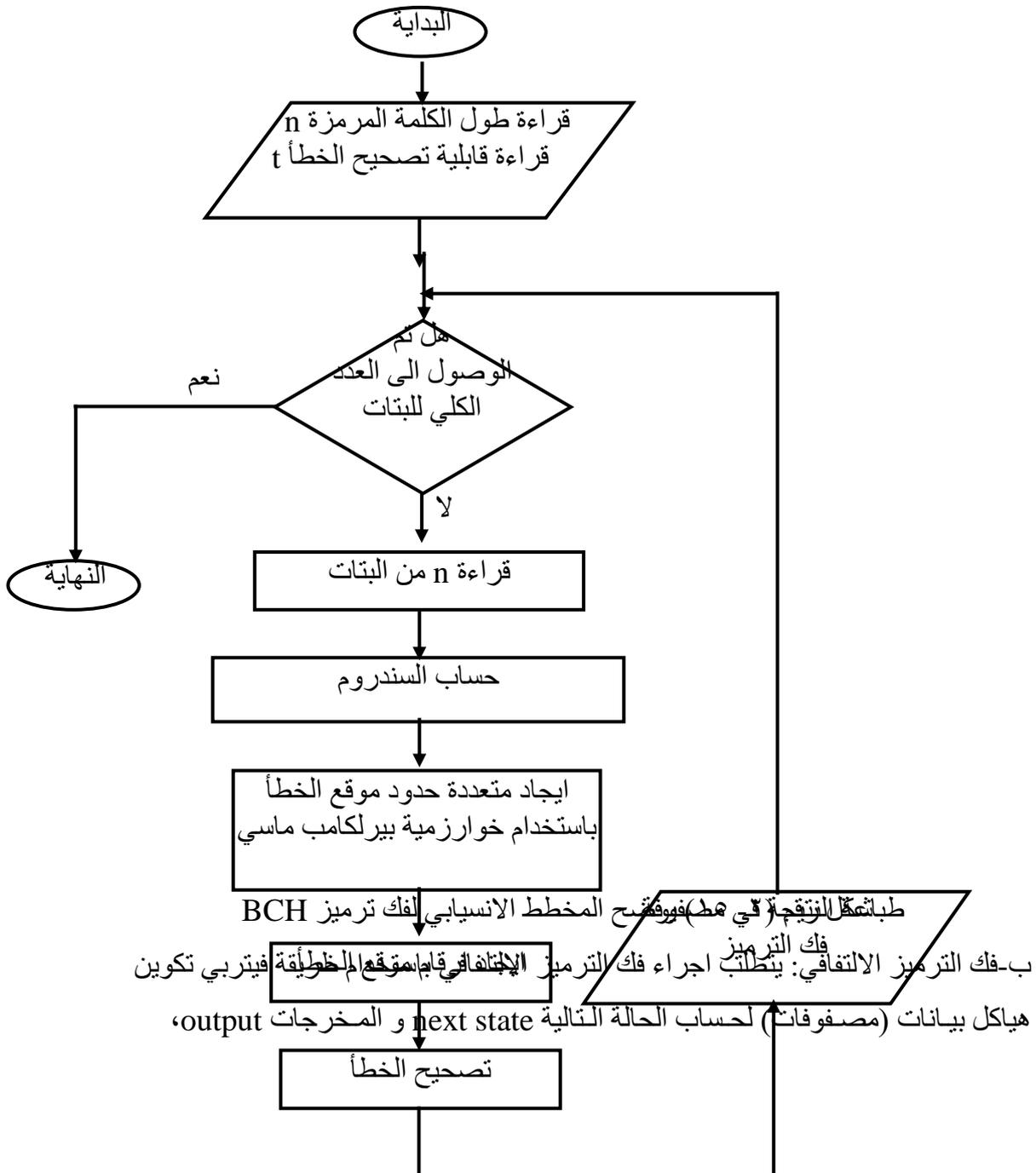


يوضح الشكل الاتي المخطط الانسيابي لفك ترميز ريد-مولر

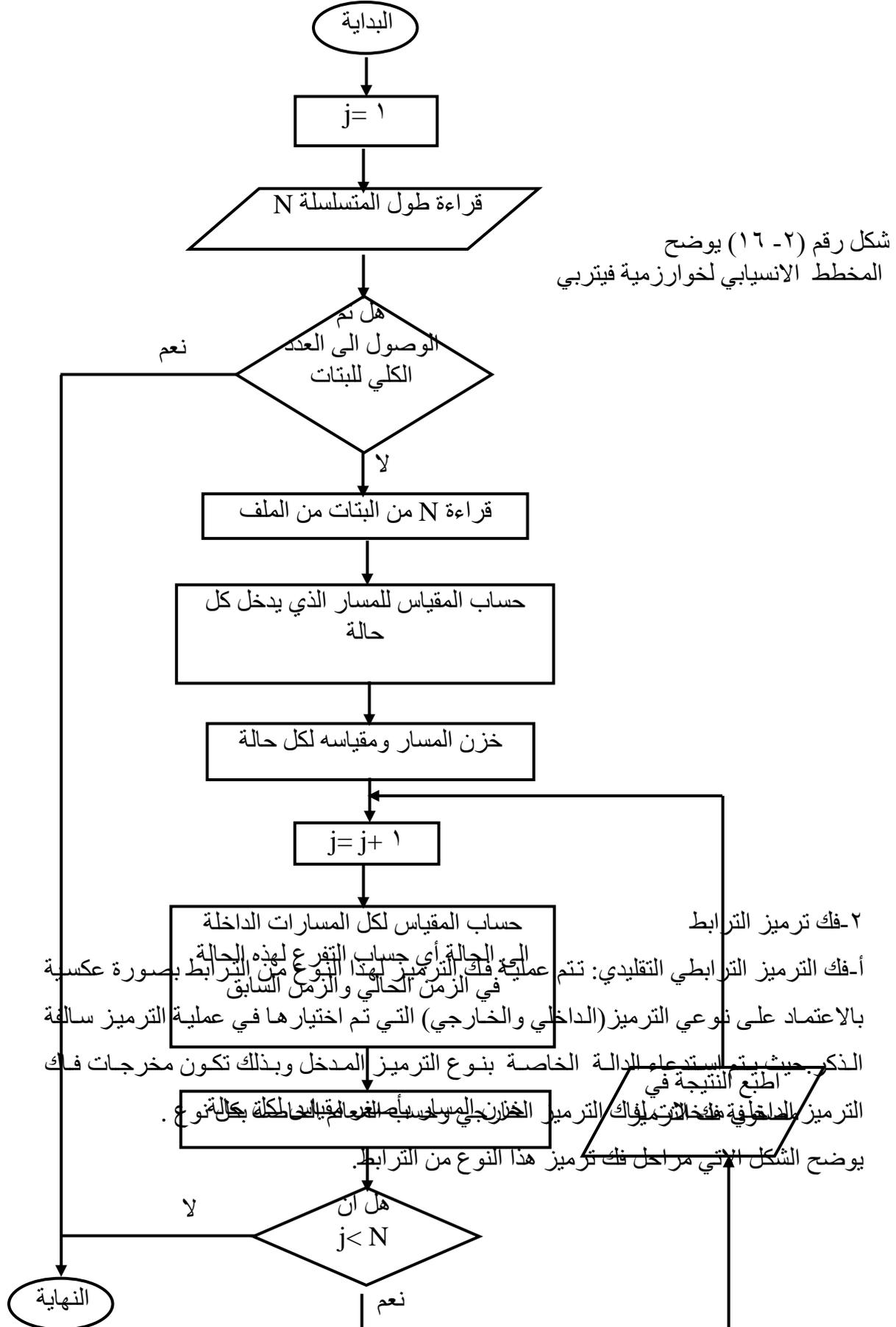


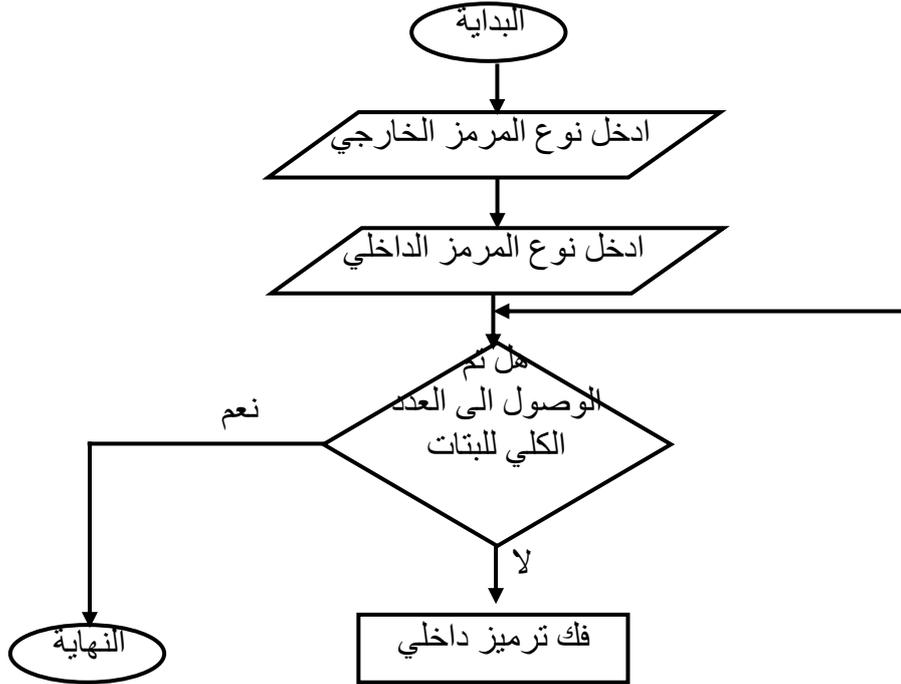
شكل رقم (٢- ١٤) يوضح المخطط الانسيابي لفك ترميز ريد- مولر

٥- فك ترميز BCH: يستخدم هذا النوع رياضيات حقل كالوس الموسع في عمليتي الترميز وفك الترميز، ويتم اجراء فك الترميز بحساب قيم السندروم من المعادلة رقم (١-١٥) ثم ايجاد متعددة الحدود لموقع الخطأ ومن ثم ايجاد مواقع الخطأ وكما تم توضيحه سابقا في الفصل الاول .  
يوضح الشكل الاتي المخطط الانسيابي لفك الترميز:



المدخلات input عند معرفة الحالية الحالية current state والحالة التالية. وايضا يتطلب حساب مقياس للخطأ المتراكم accumulated error metric (وهنا المقياس هو مسافة هامانك) لرموز القناة المستلمة وبذلك تحسب الحالة باقل مقياس وتكوين مصفوفة لهذه الحالات ومن ثم استخلاص متسلسلة البتات التي تكون مدخلات للمرمز. وكما موضح في الشكل الاتي:





شكل رقم (٢- ١٧) يوضح مراحل فك ترميز الترابط التقليدي

ب- فك الترميز الترابطي الالتفافي المتوازي (فك ترميز التوربو) :

يعتمد فك ترميز التوربو على عدد التفرعات المتوازية، وعلى عدد مراحل مسجل الازاحة بالاضافة الى نوع المبعثر المستخدم وطول سلسلة البيانات .

ويتم تهيئة القيم الابتدائية لفك الترميز الاول  $D_1$  والثاني  $D_2$  ( حيث تم استخدام اثنين من رموزات RSC ) وحساب المعلومات الخارجية من فك الترميز الاول لتكون معلومات سابقة بالنسبة لفك الترميز الثاني ، وكذلك الحال بالنسبة لفك الترميز الثاني ، يتم حساب المعلومات الخارجية لفك الترميز الثاني لتكون معلومات سابقة لفك الترميز الاول ( التي تكون اصفارا كقيمة ابتدائية) . تتطلب عملية فك الترميز تكوين جدول للمدخلات والمخرجات والحالة الحالية لاستخدامه في الترميز وفك الترميز على حد سواء ، ويتركز العمل في هذه الخوارزمية على ايجاد المعلومات الخارجية لكل فك ترميز والتي من خلالها يعتمد قرار فك الترميز ، وهذا يتم بالاعتماد على المعادلات الموضحة سابقا .

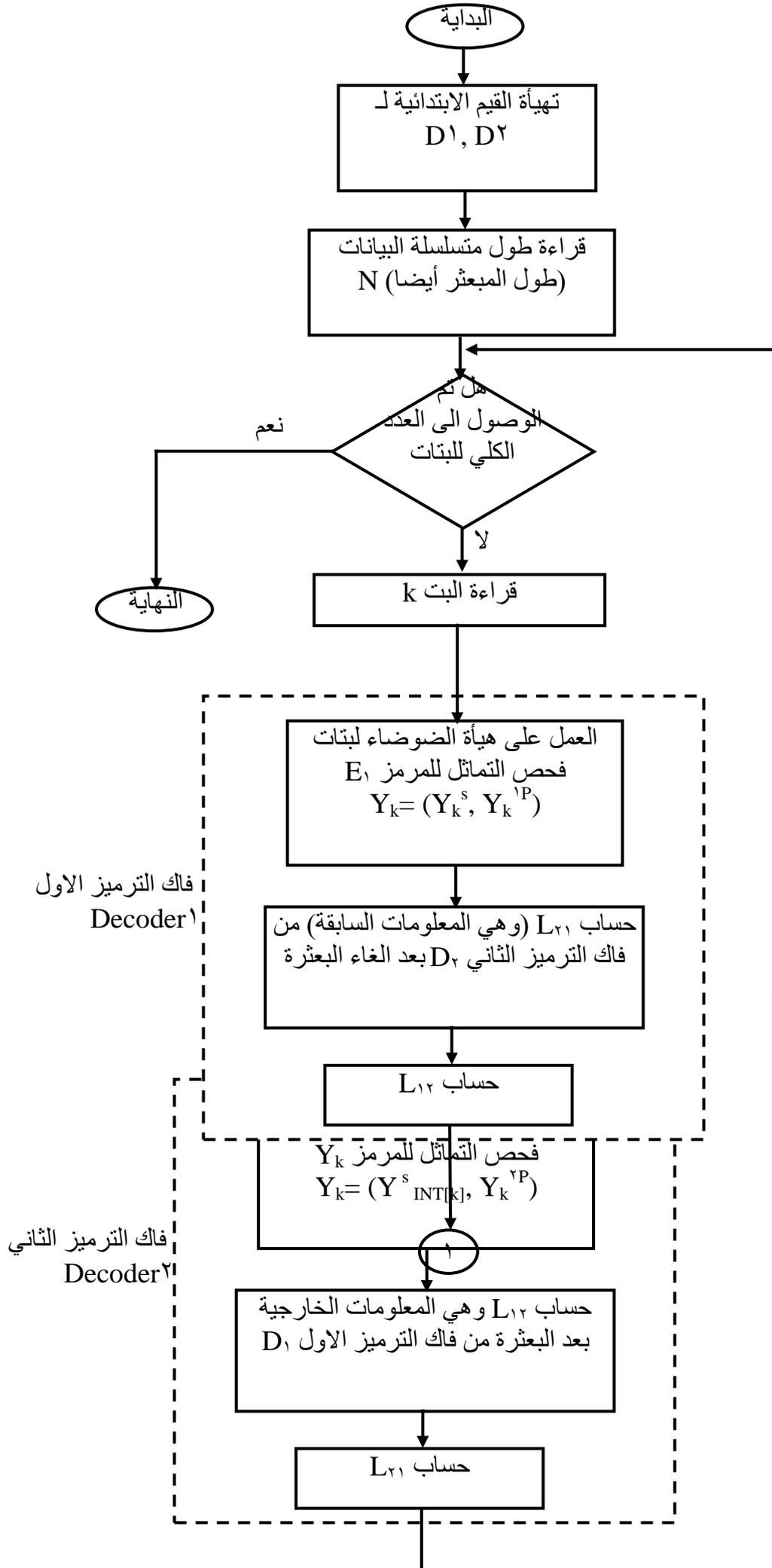
يعمل فك الترميز الاول على (الهيئة الضوضائية لمتسلسلة البيانات النظامية ، و متسلسلة بتات

فحص التماثل الناتجة من المرمز الاول ، والمعلومات الخارجية الناتجة من فك الترميز

السابق  $D_2$  بعد اجراء عملية الغاء البعثرة عليها) ، اما فك الترميز الثاني فيعمل على ( الهيئة

الضوضائية لبتات فحص التماثل الناتجة من المرمز الثاني ، المعلومات الخارجية الناتجة من

فاك الترميز السابق D١ ، والهيئة الضوضائية لمتسلسلة البتات النظامية بعد اجراء عملية البعثة عليهما ) .

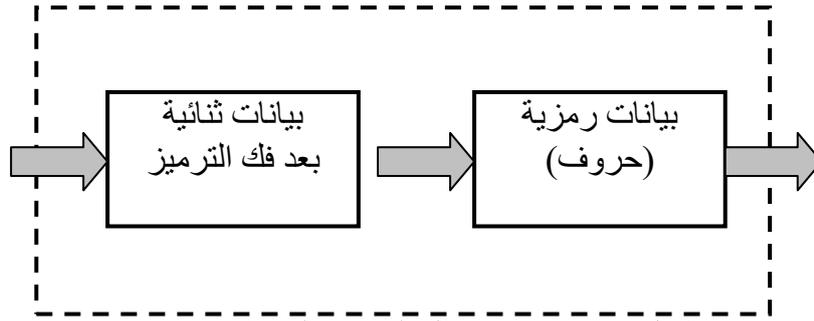


### شكل رقم (٢-١٨) فك ترميز التوربو

يتم تكرار هذا المخطط الانسيابي لعدد من المرات يحددها المستخدم في بداية اجراء عملية فك الترميز وعلى اثره يتم اتخاذ القرار الخاص بفك الترميز .

#### (٢-١-٥) البيانات الناتجة:

بعد اجراء عملية فك الترميز يتم تحويل البيانات الثنائية الناتجة من عملية فك الترميز الى هياتها بشكل رموز باللغة الانكليزية (حيث ان كل سبع بتات تحول الى رمز واحد). ويعود النص الى هياته الاولى.



شكل رقم (٢-١٩) يمثل البيانات الناتجة

في الفصل القادم، يتم توضيح الأساس المعتمد في تقويم طرائق الترميز المستخدمة في البحث واهم النتائج المستخلصة.

## الفصل الثالث

### تقويم طرائق النظام

المنافشة ، الاستنتاجات ، و الأهداف المستقبلية

#### (١-٣) النتائج العملية :

يبدأ تنفيذ النظام بإدخال عبارة انكليزية يتم تحويلها الى بيانات ثنائية تمثل بتات الرسالة المطلوب ترميزها ، حيث يتم عرض البتات الثنائية الناتجة من عملية التحويل والرمز المطابق لها . يعتمد أداء النظام على نوع الترميز المستخدم ، فعند تنفيذ النظام هناك عدة اختيارات للمستخدم هي :

١-ترميز ذو المرحلة الواحدة .

٢-ترميز ترابطي .

وعند اختيار النوع الأول تظهر قائمة أخرى هي :

١-ترميز مقطعي .

٢-ترميز التفافي .

والأول بدوره يتكون من قائمة من أنواع الترميز المقطعي هي :

( ترميز التكرار ، فحص التماثل المفرد ، هامينك ، ريد-مولر، BCH )

حيث يتم اختبار أي نوع من هذه الأنواع بإدخال المتغيرات المطلوبة في عملية الترميز بعد إنجاز عملية الترميز يتم إدخال نسبة الخطأ التي تضاف الى البيانات الناتجة من عملية الترميز ، وتحدد نسبة الخطأ بالاعتماد على عدد بتات الملف الثنائي بعد الترميز .

مثلا عندما تكون نسبة الخطأ هي ٥٪ فان عدد الاخطاء المطلوب اضافتها الى الملف تحسب من العلاقة الآتية :

$$(١-٣) \dots \dots ١٠٠ / ( عدد بتات الملف * ٥ )$$

وتتم عملية إضافة الأخطاء بطريقتين :

١- إما من قبل المستخدم بإدخال مواقع الخطأ .

٢- أو يتم توليد مواقع الخطأ عشوائيا باستخدام الدالة Random .

بعد ذلك يتم إجراء عملية فك الترميز ومقارنة البيانات الناتجة مع البتات الأصلية لمعرفة عدد الأخطاء المتبقية بعد فك الترميز (أي معرفة عدد الأخطاء التي تم تصحيحها) .

وتعد عملية مقارنة عدد الأخطاء المتبقية لكل نوع مستخدم ولنسبة الخطأ نفسها هي الأساس المعتمد في تقويم أنظمة الترميز المستخدمة .

وبعد الانتهاء من عملية فك الترميز يتم تحويل البيانات الثنائية إلى هيأتها الأصلية بشكل حروف نص لمعرفة مدى تأثير الخطأ الحاصل في البيانات الناتجة على النص المطابق لها .  
تم تجربة أنواع الترميز السابقة باختيار نسب الخطأ الآتية :

( ٥% , ١٥% , ٢٥% ) ولمعدل ترميز يختلف باختلاف المتغيرات الخاصة بكل رمز .

تم بدء خطوات تنفيذ النظام بالعمل على رسالة طولها ٨٤ بت ناتجة من تحويل حروف الأبجدية الإنكليزية الآتية الى الأرقام المطابقة لها في جدول ASCII وهذه بدورها تحول الى الهيئة الثنائية وكالاتي :

<b>A</b>	٦٥	١٠٠٠٠٠١
<b>B</b>	٦٦	٠١٠٠٠٠١
<b>C</b>	٦٧	١١٠٠٠٠١
<b>D</b>	٦٨	٠٠١٠٠٠١
<b>E</b>	٦٩	١٠١٠٠٠١
<b>F</b>	٧٠	٠١١٠٠٠١
<b>G</b>	٧١	١١١٠٠٠١
<b>H</b>	٧٢	٠٠٠١٠٠١
<b>I</b>	٧٣	١٠٠١٠٠١
<b>J</b>	٧٤	٠١٠١٠٠١
<b>K</b>	٧٥	١١٠١٠٠١
<b>L</b>	٧٦	٠٠١١٠٠١

حيث ان عدد رموز الخطأ التي سيتم إضافتها تعتمد على طول البتات المرزمة والأخير بدوره يعتمد على المعالم الخاصة بكل نوع من انواع الترميز .

وفيما ياتي اهم النتائج المستخلصة عند تنفيذ النظام :

### (١-١-٣) نتائج الترميز ذو المرحلة الواحدة :

تتضمن نتائج الترميز ذو المرحلة الواحدة بنوعيه (المقطعي والالتفافي) تجربة أداء كل

نوع ومقارنة النتائج مع بعضها ولنسب الخطأ نفسها .حيث أن  $n$  هو طول كلمة الترميز ،

ترميز التكرار : توضح الجداول الآتية أداء ترميز التكرار باختيار أطوال فردية وزوجية للكلمة

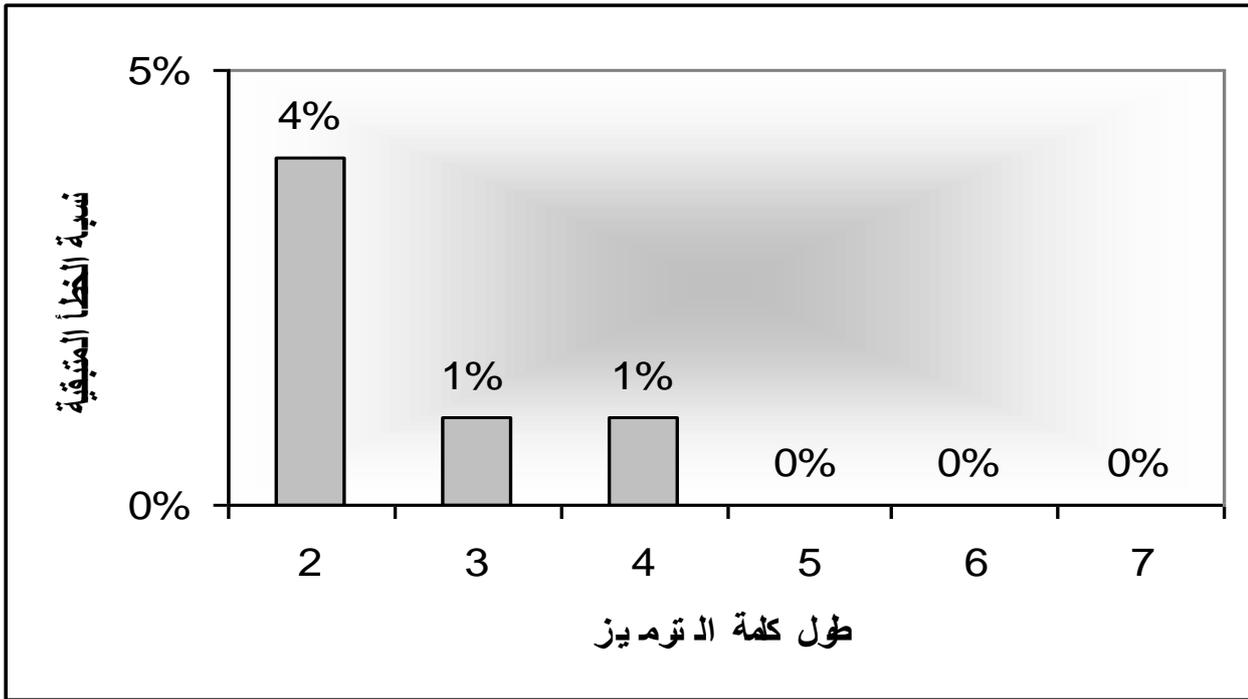
المرزمة  $n$  ولنسب الخطأ السابقة أما الأشكال المدرجة فتمثل نسب الخطأ المتبقية بعد عملية فك

الترميز :

طول كلمة الترميز	معدل الترميز	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
٢	٠,٥	١٦٨	٨	٤	٤%
٣	٠,٣٣	٢٥٢	١٢	١	١%
٤	٠,٢٥	٣٣٦	١٦	١	١%
٥	٠,٢	٤٢٠	٢١	صفر	صفر%
٦	٠,١٦٦	٥٠٤	٢٥	صفر	صفر%
٧	٠,١٤٢	٥٨٨	٢٩	صفر	صفر%

جدول (١-٣) يوضح نتائج ترميز التكرار ولنسبة خطأ ٥%

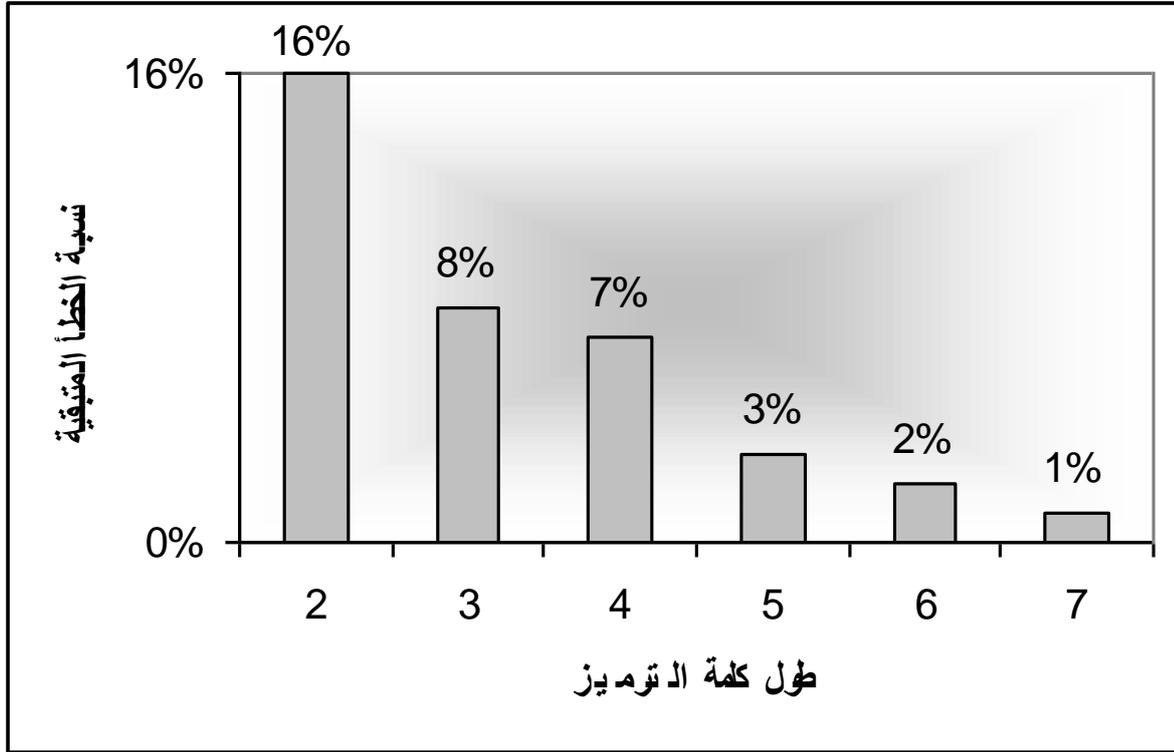
اما الشكل الاتي فيوضح العلاقة بين طول كلمة الترميز ونسبة الخطأ المتبقية :



شكل رقم (٣-١) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام أطوال مختلفة لترميز التكرار ولنسبة خطأ ٥٪

طول كلمة الترميز	معدل الترميز	عدد البتات المرزمة	عدد الاخطاء المتولدة	عدد الاخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
٢	٠,٥	١٦٨	٢٥	١٤	١٦%
٣	٠,٣٣	٢٥٢	٣٧	٧	٨%
٤	٠,٢٥	٣٣٦	٥٠	٦	٧%
٥	٠,٢	٤٢٠	٦٣	٣	٣%
٦	٠,١٦٦	٥٠٤	٧٥	٢	٢%
٧	٠,١٤٢	٥٨٨	٨٨	١	١%

جدول (٢-٣) يوضح نتائج ترميز التكرار ولنسبة خطأ ١٥٪  
شكل رقم (٢-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام أطوال مختلفة



لترميز التكرار ولنسبة خطأ ١٥٪

ول كلمة الترميز	معدل الترميز	عدد البتات المرزمة	عدد الاخطاء المتولدة	عدد الاخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
٢	٠٫٥	١٦٨	٤٢	٢٢	٢٦٪
٣	٠٫٣٣	٢٥٢	٦٣	١٢	١٤٪
٤	٠٫٢٥	٣٣٦	٨٤	١٥	١٧٪
٥	٠٫٢	٤٢٠	١٠٥	١١	١٣٪
٦	٠٫١٦٦	٥٠٤	١٢٦	٩	١٠٪
٧	٠٫١٤٢	٥٨٨	١٤٧	٦	٧٪

جدول (٣-٣) يوضح نتائج ترميز التكرار ولنسبة خطأ ٢٥٪

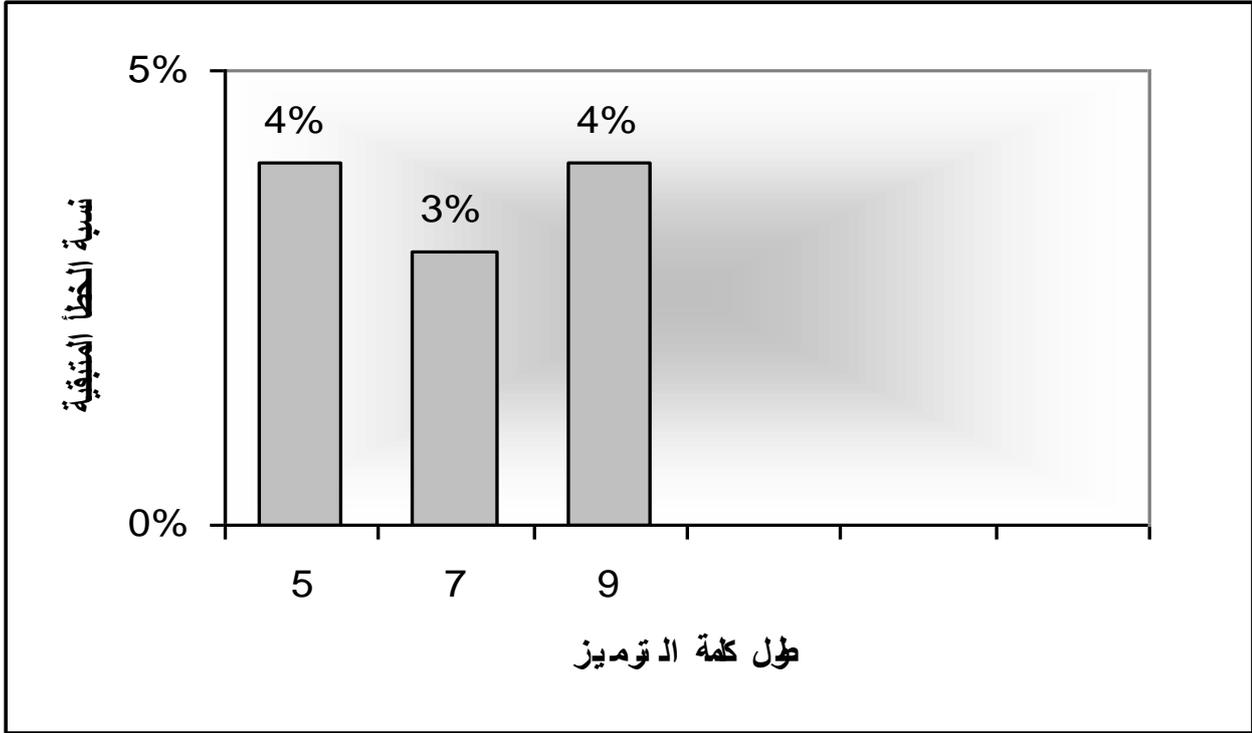


شكل رقم (٣-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام أطوال مختلفة لترميز التكرار ولنسبة خطأ ٢٥٪

ترميز SPC: وعند تنفيذ ترميز فحص التماثل المفرد ولنسب الخطأ السابقة نفسها كانت النتائج:

طول كلمة البيانات	طول كلمة الترميز	معدل الترميز	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
٤	٥	٠,٨	١٠٥	٥	٤	٤%
٦	٧	٠,٨٥٧	٩٨	٤	٣	٣%
٨	٩	٠,٨٨٨	٩٩	٤	٤	٤%

جدول (٤-٣) يوضح نتائج ترميز فحص التماثل المفرد ولنسبة خطأ ٥٪



شكل رقم (٤-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز فحص التماثل ولنسبة خطأ ٥٪

طول كلمة البيانات	طول كلمة الترميز	معدل الترميز	عدد البتات المرزمة	عدد الاخطاء المتولدة	عدد الاخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
٤	٥	٠,٨	١٠٥	١٥	١٣	١٥%
٦	٧	٠,٨٥٧	٩٨	١٤	١٢	١٤%
٨	٩	٠,٨٨٨	٩٩	١٤	١٢	١٤%

جدول (٥-٣) يوضح نتائج ترميز فحص التماثل المفرد ولنسبة خطأ ١٥٪



شكل رقم (٥-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز فحص التماثل ولنسبة خطأ ١٥٪

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الاخطاء المتبقية	عدد الاخطاء المتولدة	عدد البتات المرزمة	معدل الترميز	طول كلمة الترميز	طول كلمة البيانات
٢٦%	٢٢	٢٦	١٠٥	٠,٨	٥	٤
٢٥%	٢١	٢٤	٩٨	٠,٨٥٧	٧	٦
٢٣%	٢٠	٢٤	٩٩	٠,٨٨	٩	٨

جدول (٦-٣) يوضح نتائج ترميز فحص التماثل المفرد ولنسبة خطأ ٢٥٪



شكل رقم (٦-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز

فحص التماثل ولنسبة خطأ ٢٥٪

ترميز هامنك : وعند تجربة ترميز هامينك ولاطوال مختلفة لمقطع الكلمة المرزمة وباستخدام

النسب السابقة نفسها كانت النتائج كالآتي :

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الأخطاء المتبقية	عدد الأخطاء المتولدة	عدد البتات المرزمة	معدل الترميز	طول كلمة الترميز	طول كلمة البيانات
١٪	١	٨	١٦٨	٠,٥	٦	٣
٢٪	٢	٧	١٥٣	٠,٥٥	٩	٥
٢٪	٢	٦	١٣٢	٠,٦٣٦	١١	٧

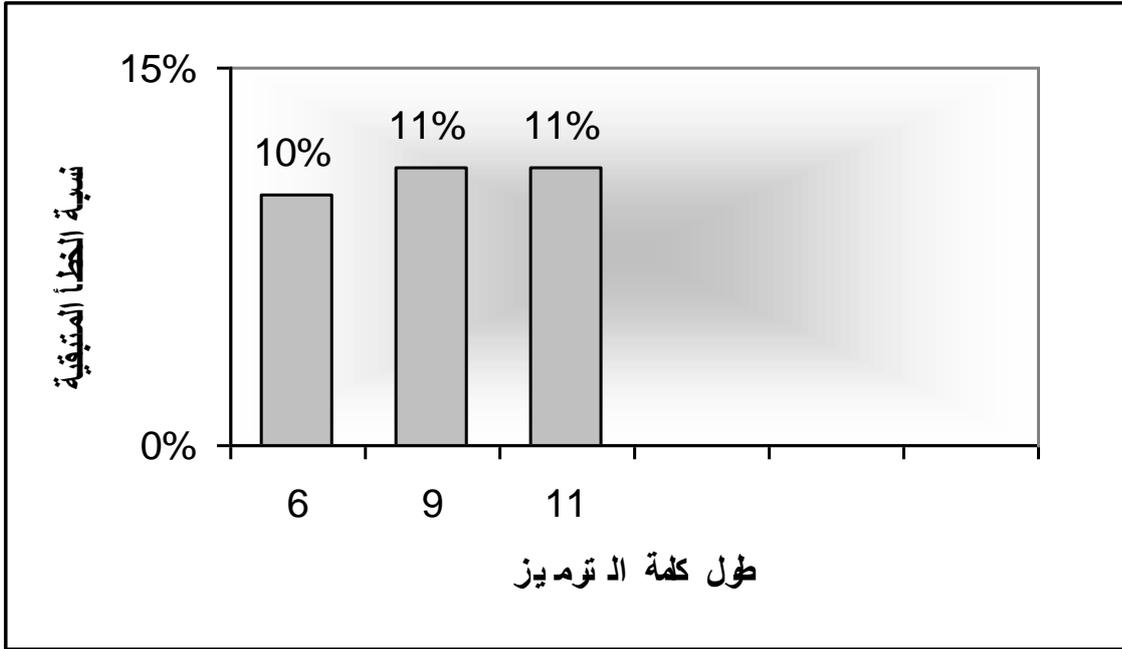
## جدول (٧-٣) يوضح نتائج ترميز هامينك ولنسبة خطأ ٥%



شكل رقم (٧-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز هامينك ولنسبة خطأ ٥%

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الأخطاء المتبقية	عدد الأخطاء المتولدة	عدد البتات المرزمة	معدل الترميز	طول كلمة الترميز	طول كلمة البيانات
١٠%	٩	٢٥	١٦٨	٠,٥	٦	٣
١١%	١٠	٢٢	١٥٣	٠,٥٥	٩	٥
١١%	١٠	١٩	١٣٢	٠,٦٣٦	١١	٧

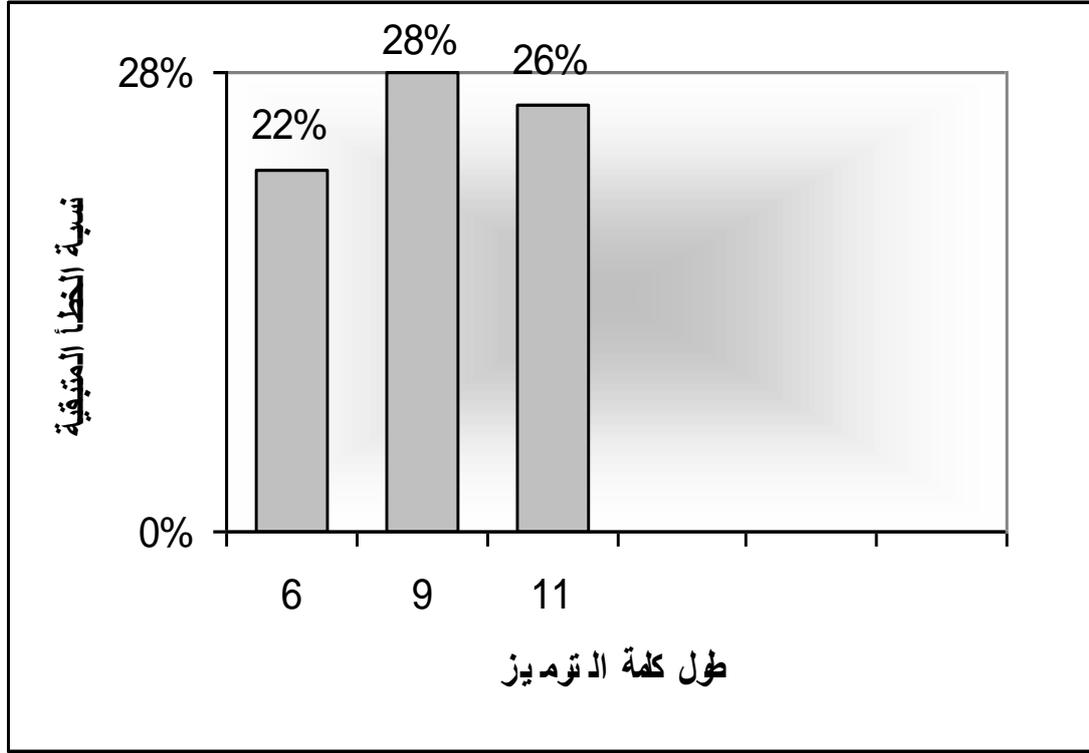
جدول (٨-٣) يوضح نتائج ترميز هامينك ولنسبة خطأ ١٥٪



شكل رقم (٨-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز هامينك ولنسبة خطأ ١٥٪

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الأخطاء المتبقية	عدد الأخطاء المتولدة	عدد البتات المرزمة	معدل الترميز	طول كلمة الترميز	طول كلمة البيانات
٢٢%	١٩	٤٢	١٦٨	٠,٥	٦	٣
٢٨%	٢٤	٣٨	١٥٣	٠,٥٥	٩	٥
٢٦%	٢٢	٣٣	١٣٢	٠,٦٣٦	١١	٧

جدول (٩-٣) يوضح نتائج ترميز هامينك ولنسبة خطأ ٢٥٪

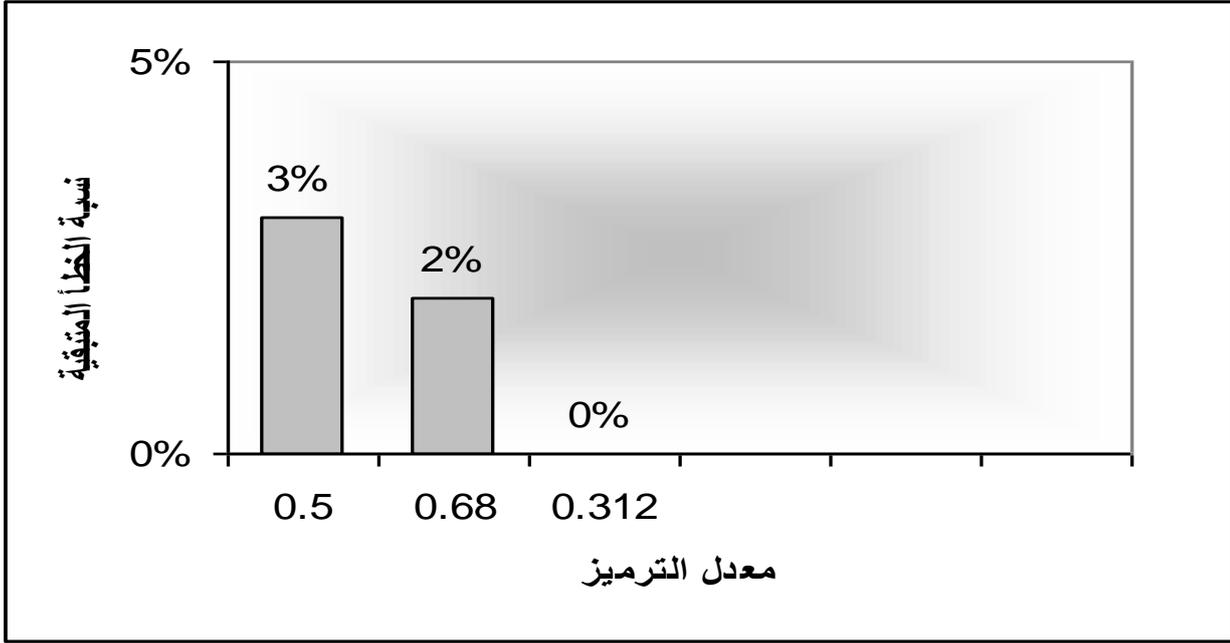


شكل رقم (٩-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز هامينك ولنسبة خطأ ٢٥٪

ترميز ريد-مولر : وبالنسبة لترميز ريد\_مولر فقد كانت النتائج كالآتي :

طول كلمة البيانات	طول كلمة الترميز	معدل الترميز	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
٤	٨	٠,٥	١٦٨	٨	٣	٣%
١١	١٦	٠,٦٨	١٢٤	٦	٢	٢%
٥	١٦	٠,٣١٢	٢٧١	١٣	صفر	صفر%

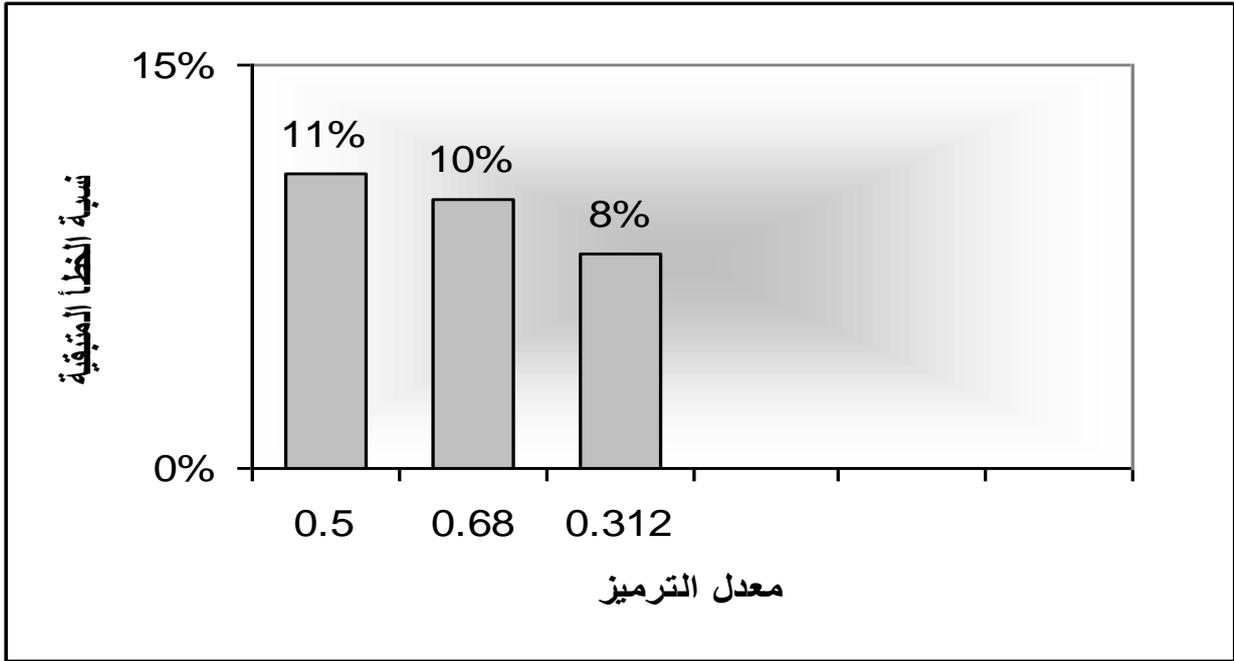
جدول (١٠-٣) يوضح نتائج ترميز ريد\_مولر ولنسبة خطأ ٥%



شكل رقم (١٠-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز ريد-مولر ولنسبة خطأ ٥%

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الاخطاء المتبقية	عدد الاخطاء المتولدة	عدد البتات المرزمة	معدل الترميز	طول كلمة الترميز	طول كلمة البيانات
١١%	١٠	٢٥	١٦٨	٠,٥	٨	٤
١٠%	٩	١٨	١٢٤	٠,٦٨	١٦	١١
٨%	٧	٤٠	٢٧١	٠,٣١٢	١٦	٥

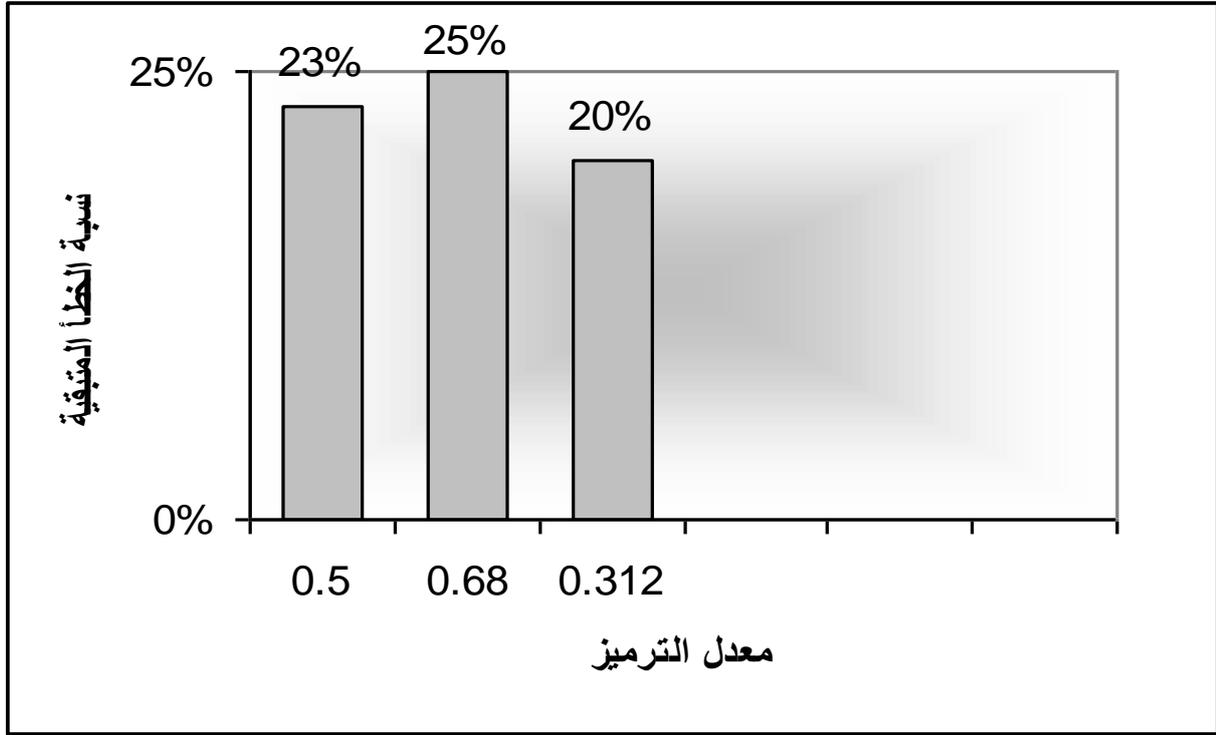
جدول (١١-٣) يوضح نتائج ترميز ريد\_مولر ولنسبة خطأ ١٥%



شكل رقم (٣-١١) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز ريد-مولر ولنسبة خطأ ١٥٪

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الاخطاء المتبقية	عدد الاخطاء المتولدة	عدد البتات المرزمة	معدل الترميز	طول كلمة الترميز	طول كلمة البيانات
٢٣%	٢٠	٤٢	١٦٨	٠,٥	٨	٤
٢٥%	٢١	٣١	١٢٤	٠,٦٨	١٦	١١
٢٠%	١٧	٦٧	٢٧١	٠,٣١٢	١٦	٥

جدول (٣-١٢) يوضح نتائج ترميز ريد-مولر ولنسبة خطأ ٢٥%  
شكل رقم (٣-١٢) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز



ريد-مولر ولنسبة خطأ ٢٥%

ترميز BCH : اما ترميز BCH فقد كانت النتائج كالآتي :

طول كلمة البيانات	طول كلمة الترميز	معدل الترميز	عدد البتات المرمزة	عدد الاخطاء المتولدة	عدد الاخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
٤	٧	٠,٥٧	١٤٧	٧	١	١%
٧	١٥	٠,٤٦	١٨٠	٩	صفر	صفر%
٥	١٥	٠,٣٣٣	٢٥٥	١٢	صفر	صفر%

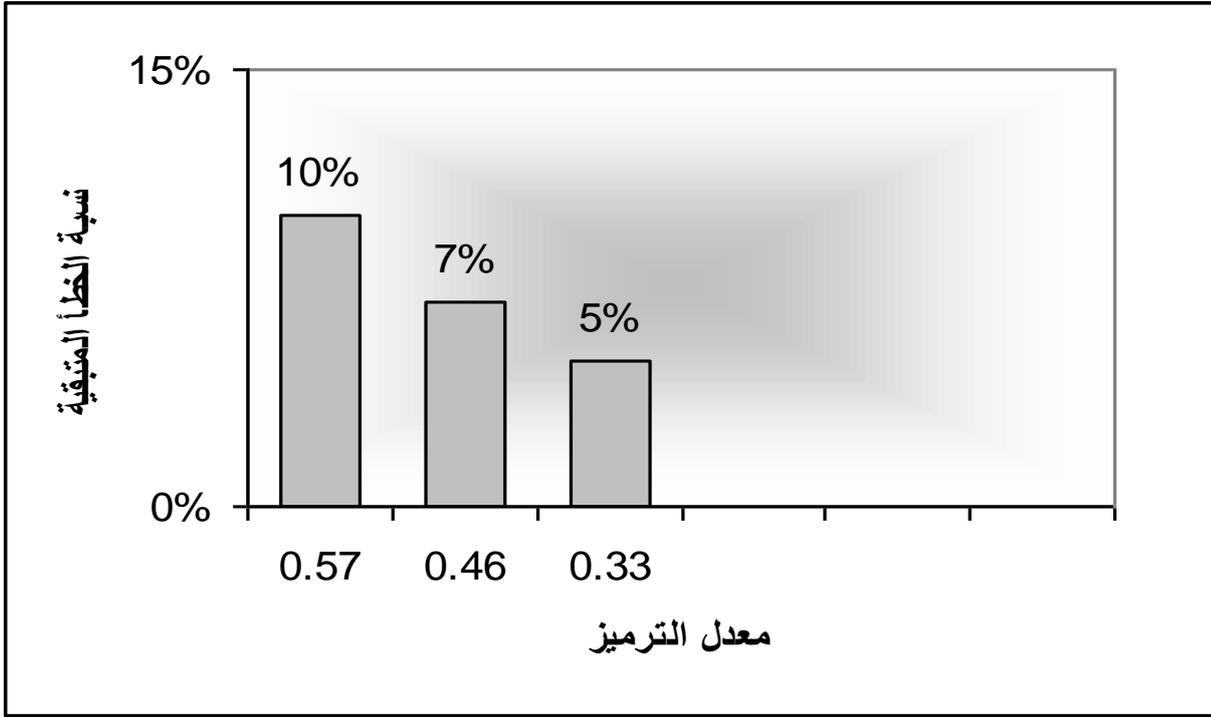
جدول (٣-١٣) يوضح نتائج ترميز BCH ولنسبة خطأ ٥%



شكل رقم (٣-١٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز BCH ولنسبة خطأ ٥ %

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الاخطاء المتبقية	عدد الاخطاء المتولدة	عدد البتات المرزمة	معدل الترميز	طول كلمة الترميز	طول كلمة البيانات
١٠%	٩	٢٢	١٤٧	٠٫٥٧	٧	٤
٧%	٦	٢٧	١٨٠	٠٫٤٦	١٥	٧
٥%	٤	٣٨	٢٥٥	٠٫٣٣٣	١٥	٥

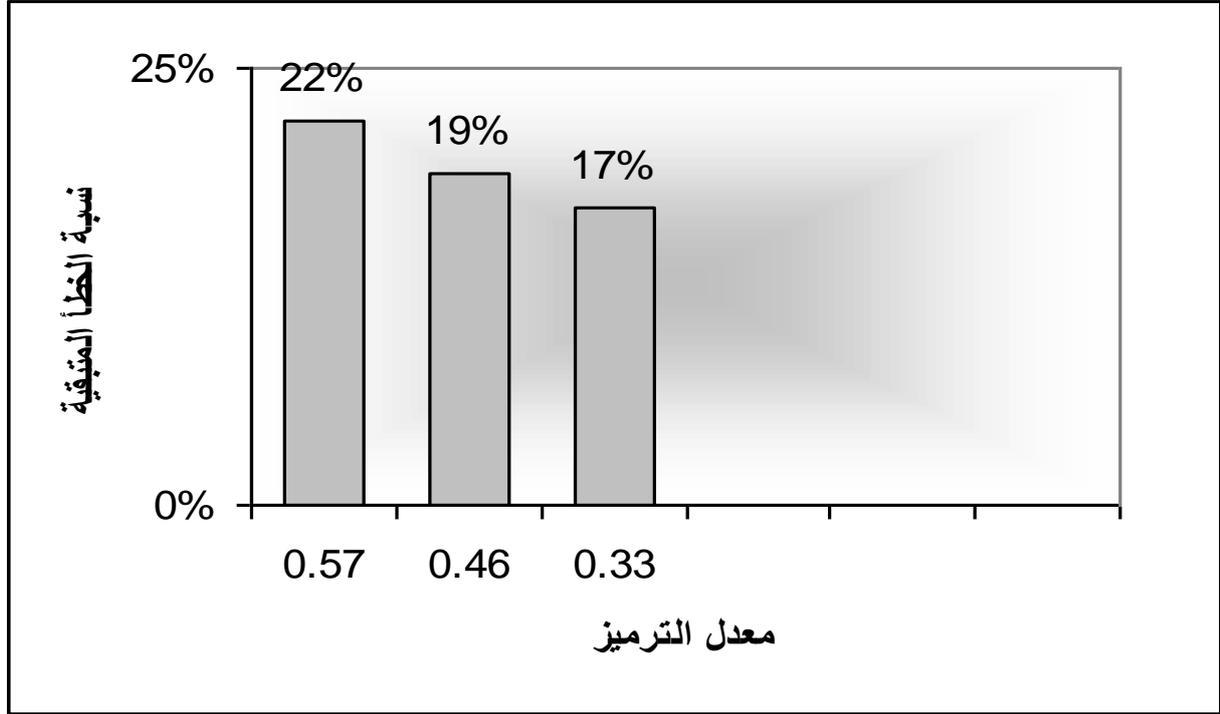
جدول (٣-١٤) يوضح نتائج ترميز BCH ولنسبة خطأ ١٥%.



شكل رقم (٣-١٤) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز BCH ولنسبة خطأ ١٥%

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الاخطاء المتبقية	عدد الاخطاء المتولدة	عدد البتات المرزمة	معدل الترميز	طول كلمة الترميز	طول كلمة البيانات
٢٢%	١٩	٣٦	١٤٧	٠,٥٧	٧	٤
١٩%	١٦	٤٥	١٨٠	٠,٤٦	١٥	٧
١٧%	١٤	٦٣	٢٥٥	٠,٣٣٣	١٥	٥

جدول (٣-١٥) يوضح نتائج ترميز BCH ولنسبة خطأ ٢٥٪  
شكل رقم (٣-١٥) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام ترميز

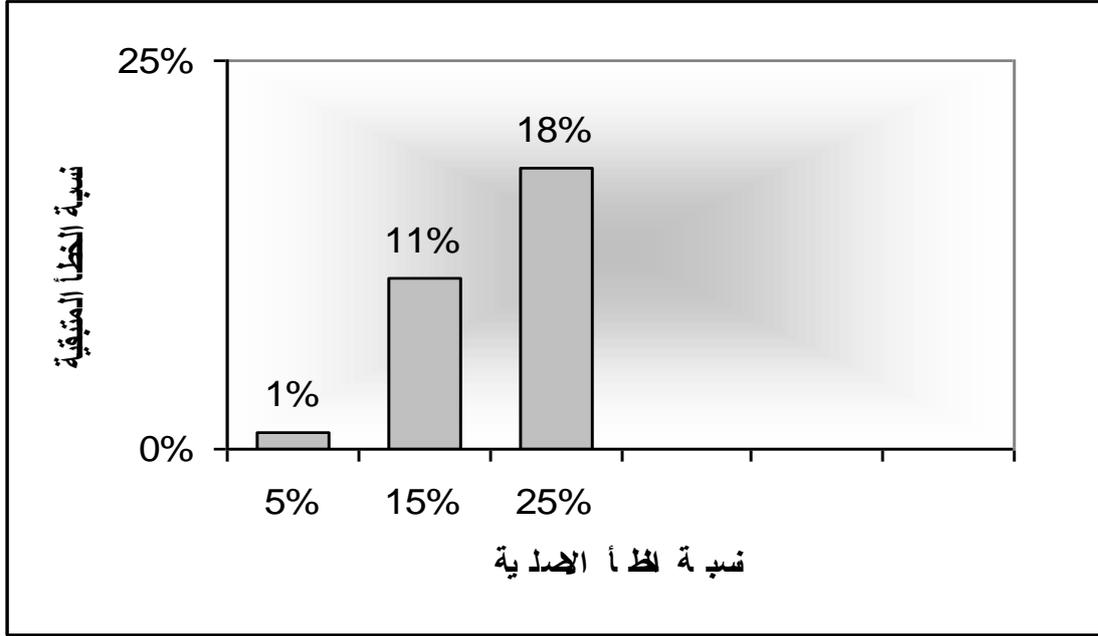


BCH ولنسبة خطأ ٢٥ %

الترميز الالتفافي : ولترميز التفافي بنسبة ترميز ١/٢ وبمولدتي ترميز (١٠١,١١١) وذاكرة  
 $m=2$  كانت النتائج كالآتي :

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الأخطاء المتبقية	عدد الأخطاء المتولدة	عدد البتات المرزمة	نسبة الخطأ
١%	٢	٨	١٧٢	٥%
١١%	١٠	٢٥	١٧٢	١٥%
١٨%	١٥	٤٣	١٧٢	٢٥%

جدول (١٦-٣) يوضح نتائج الترميز الالتفافي لـ  $m=2$  وللنسب كلها  
شكل رقم (١٦-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام

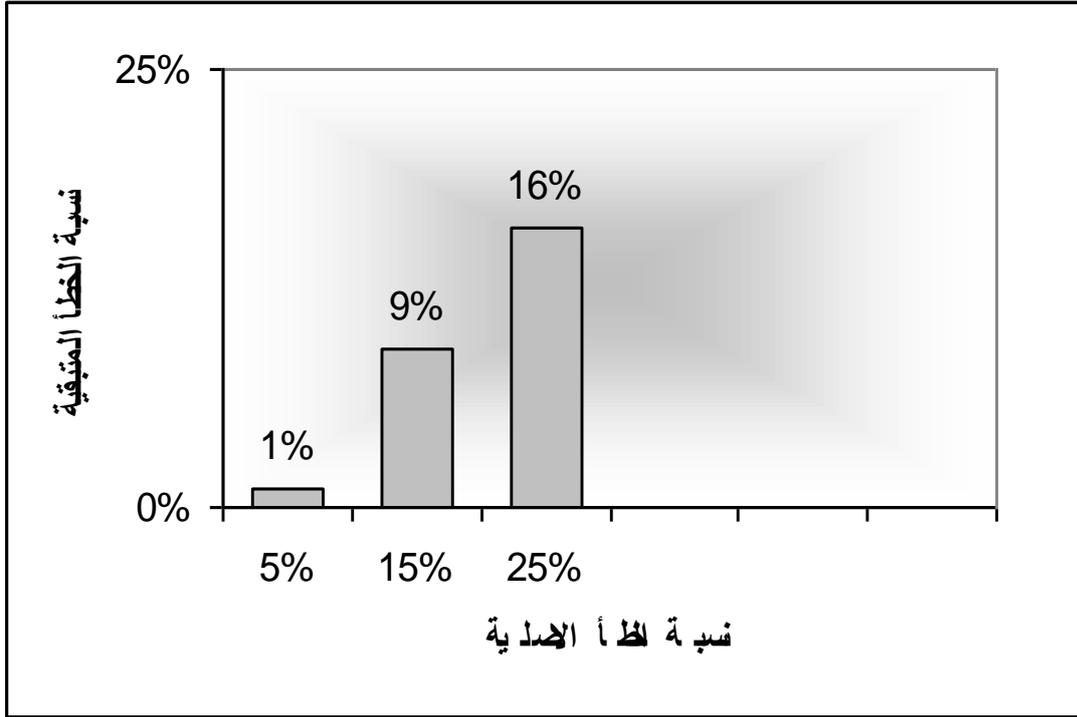


الترميز الالتفافي لـ  $m=2$  وللنسب كلها

وباستخدام مولدتي ترميز (١١٠١, ١١١١) وذاكرة  $m=3$  كانت النتائج كالاتي :

نسبة الخطأ المتبقية	عدد الاخطاء المتبقية	عدد الاخطاء المتولدة	عدد البتات المرمزة	نسبة الخطأ
١%	٢	٨	١٧٢	٥%
٩%	٨	٢٥	١٧٢	١٥%
١٦%	١٤	٤٣	١٧٢	٢٥%

جدول (١٧-٣) يوضح نتائج الترميز الالتفافي لـ  $m=3$  وللنسب كلها



شكل رقم (١٧-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية بعد عملية فك الترميز باستخدام

الترميز الالتفافي لـ  $m=3$  وللنسب كلها

ومن الجداول والأشكال السابقة والخاصة بالترميز ذو المرحلة الواحدة ، نستنتج أن :

١- أداء ترميز التكرار جيد جدا من حيث قابليته لتصحيح الخطأ التي تزداد بزيادة طول مقطع الكلمة المرزمة ، بالإضافة إلى أن عملية فك الترميز تعتمد على أغلبية القيم المستلمة فيما إذا كانت أصفارا أم واحداً ، وهذا ما يجعل طول كلمة الترميز الفردي افضل من الزوجي . ولكن لهذا النوع من الترميز معدل ترميز واطئ جدا وهذا يعني استخدام عدد كبير من بتات فحص التماثل وعدم استغلال قناة الاتصال استغلالا امثل .

٢- ترميز فحص التماثل لم يعط أي تحسن في الحصول على بيانات مشابهة للبيانات المرسله بل على العكس فقد زادت نسبة الخطأ في بعض الأحيان عندما يكون موقع الخطأ في بتات البيانات الأصلية وليس في بت الفحص الذي تمت إضافته ، والأمر ليس غريبا لان هذا النوع يستخدم لاكتشاف الخطأ دون تصحيحه لانه عاجز عن معرفة موقع الخطأ أما الانخفاض الحاصل في نسبة الخطأ في بعض الحالات فسببه ان موقع الخطأ حدث في بت فحص التماثل الذي يتم حذفه لاحقا للحصول على البيانات الأصلية .

٣- ترميز هامنك له القابلية على تصحيح خطأ واحد فقط ، ولكن لا يمكنه تصحيح أو اكتشاف نماذج الخطأ بوزن اكبر من ١ لذلك سيؤدي إلى فك ترميز خاطئ وبذلك ستكون البيانات

المستخلصة بعد عملية فك الترميز ليست هي البيانات الأصلية ، وهذا يزيد من نسبة الخطأ في بعض الأحيان .

٤- ترميزي ريد-مولر و BCH يتمتعان بقابليات تصحيح عالية وخاصة ترميز BCH ذو الهيكل الدوري وهذا أدى الى الحصول على تقليل واضح في نسب الخطأ بصورة عامة .

٥- الترميز الالتفافي فعال في السيطرة على الخطأ وتقليل نسبته ويكاد يكون أداءه قريبا من أداء ترميز BCH .

### (٣-١-٢) نتائج ترميز الترابط التقليدي :

أما ترميز الترابط فقد تم تجربة الترابط لاثنتين من الرموز المقطعية ترابطا تسلسليا واعتماد نوع المبعثر المقطعي حيث ان طول كلمة البيانات وطول الكلمة المرزمة للمرمز الخارجي هي :  $(n_1, k_1)$  و  $(n_2, k_2)$  للمرمز الداخلي ، تم تجربة أنواع الترابط الآتية ولنسب الخطأ السابقة نفسها .

١- عندما يكون ترميز التكرار ترميزا خارجيا ، تمت تجربة الحالات الآتية وبمعدلات

ترميز مختلفة :

نوع الترميز الداخلي	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	١	٣	١	٣	٧٥٦	٣٧	١	١%
	١	٣	١	٥	١٢٦٠	٦٣	صفر	صفر%
فحص التماثل	١	٣	٤	٥	٣١٥	١٥	١	١%
	١	٥	٤	٥	٥٢٥	٢٦	صفر	صفر%
هامينك	١	٣	٧	١١	٣٩٦	١٩	١	١%
	١	٥	٣	٦	٨٤٠	٤٢	صفر	صفر%
ريد-مولر	١	٣	٥	١٦	٨١٦	٤٠	١	١%
	١	٥	٤	٨	٨٤٠	٤٢	صفر	صفر%
BCH	١	٣	٤	٧	٤٤١	٢٢	١	١%
	١	٥	٤	٧	٧٣٥	٣٦	صفر	صفر%

جدول (٣-١٨) يوضح نتائج الترابط لترميز التكرار كترميز خارجي مع بقية الأنواع  
وباستخدام البعثة المقطعية ولنسبة خطأ ٥٪

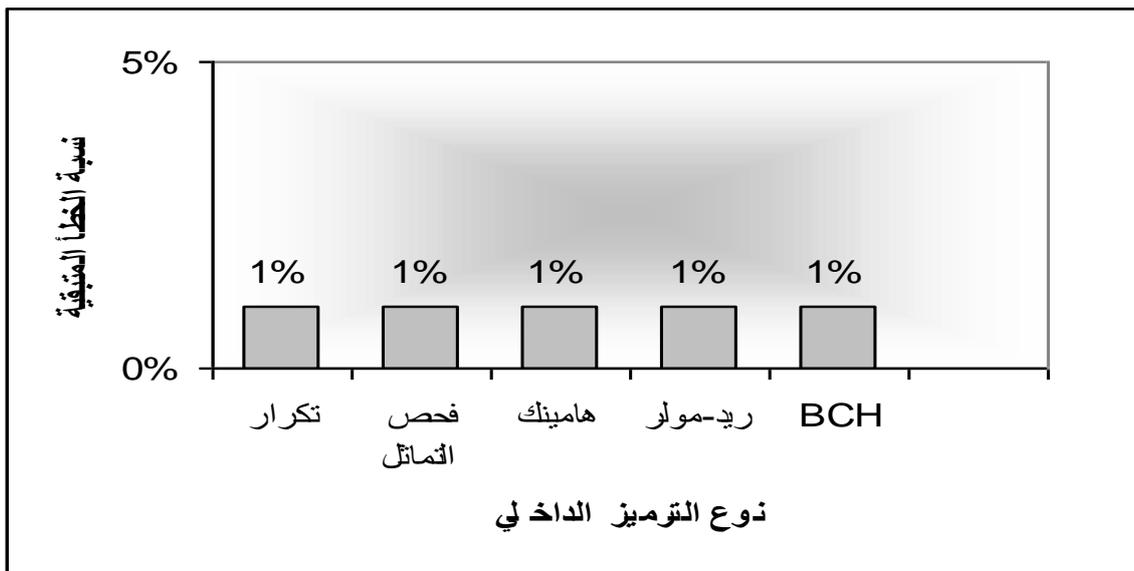
نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرمزة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	١	٣	١	٣	٧٥٦	١١٣	١	١٪
	١	٣	١	٥	١٢٦٠	١٨٩	صفر	صفر٪
فحص التماثل	١	٣	٤	٥	٣١٥	٤٧	٧	٨٪
	١	٥	٤	٥	٥٢٥	٧٨	٢	٢٪
هامينك	١	٣	٧	١١	٣٩٦	٥٩	٥	٥٪
	١	٥	٣	٦	٨٤٠	١٢٦	٢	٢٪
ريد-مولر	١	٣	٥	١٦	٨١٦	١٢٢	٤	٤٪
	١	٥	٤	٨	٨٤٠	١٢٦	٢	٢٪
BCH	١	٣	٤	٧	٤٤١	٦٦	٢	٢٪
	١	٥	٤	٧	٧٣٥	١١٠	١	١٪

جدول (٣-١٩) يوضح نتائج الترابط لترميز التكرار كترميز خارجي مع بقية الأنواع  
وباستخدام البعثة المقطعية ولنسبة خطأ ١٥٪

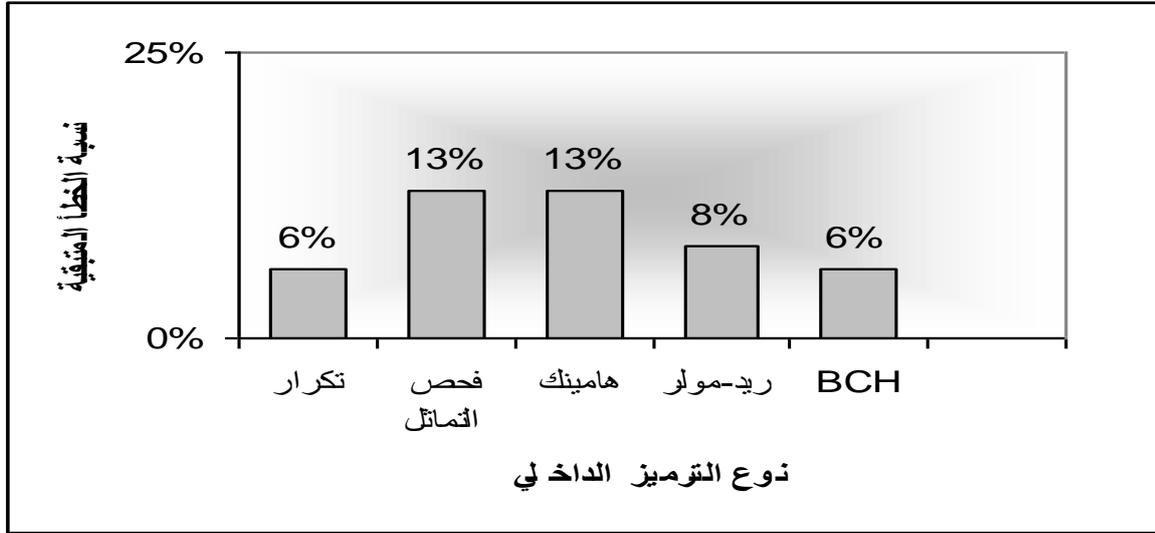
نوع الترميز الداخلي	k ١	N ١	k ٢	n ٢	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	١	٣	١	٣	٧٥٦	١٨٩	٧	٨ %
	١	٣	١	٥	١٢٦٠	٣١٥	٤	٤ %
فحص التماثل	١	٣	٤	٥	٣١٥	٧٨	١٥	١٧ %
	١	٥	٤	٥	٥٢٥	١٣١	٩	١٠ %
هامينك	١	٣	٧	١١	٣٩٦	٩٩	١٤	١٦ %
	١	٥	٣	٦	٨٤٠	٢١٠	١١	١٣ %
ريد-مولر	١	٣	٥	١٦	٨١٦	٢٠٤	٨	٩ %
	١	٥	٤	٨	٨٤٠	٢١٠	٧	٨ %
BCH	١	٣	٤	٧	٤٤١	١١٠	٩	١٠ %
	١	٥	٤	٧	٧٣٥	١٨٣	٥	٦ %

جدول (٣-٢٠) يوضح نتائج الترابط لترميز التكرار كترميز خارجي مع بقية الانواع وباستخدام البعثة المقطعية ونسبة خطأ ٢٥ %

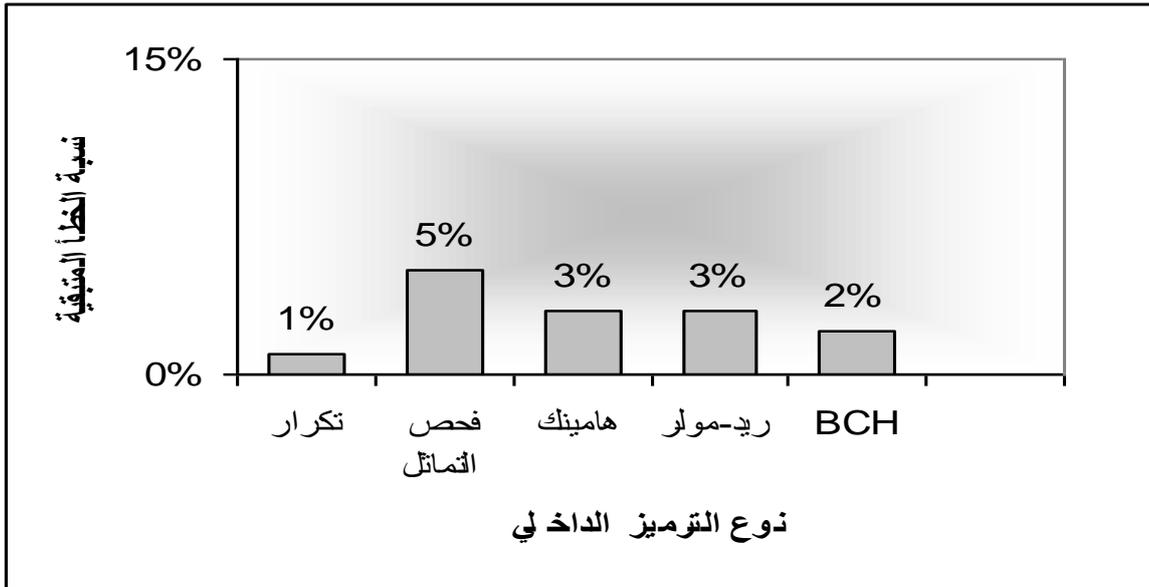
اما المعدلات النهائية لنسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز التكرار ترميزا خارجيا فيمكن توضيحها كما يأتي :



شكل رقم (٣-١٨) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز التكرار ترميزا خارجيا ولنسبة خطأ ٥ %



شكل رقم (٣-٢٠) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز التكرار ترميزا خارجيا ولنسبة خطأ ٢٥ %



٢- عندما يكون ترميز فحص التماثل ترميزا خارجيا وتجربة بقية الانواع كترميز داخلي كانت

شكل رقم (٣-١٩) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز التكرار ترميزا خارجيا ولنسبة خطأ ١٥ %

النتائج كالاتي :

نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٤	٥	١	٣	٣١٥	١٥	١	١%

فحص التماثل	٤	٥	٤	٥	١٣٠	٦	٣	٤%
هامينك	٤	٥	٣	٦	٢١٠	١٠	٢	٢%
ريد-مولر	٤	٥	٥	١٦	٣٣٦	١٧	صفر	صفر%
	٤	٥	٤	٨	٢١٠	١٠	٢	٢%
BCH	٤	٥	٤	٧	١٨٩	٩	١	١%
	٤	٥	٥	١٥	٣١٥	١٥	صفر	صفر%

جدول (٢١-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز فحص التماثل كترميز خارجي مع بقية  
الانواع وباستخدام البعثة ونسبة خطأ ٥%

نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرمزة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٤	٥	١	٣	٣١٥	٤٧	٧	٨%
فحص التماثل	٤	٥	٤	٥	١٣٠	١٩	١١	١٢%
هامينك	٤	٥	٣	٦	٢١٠	٣١	٩	١٠%
ريد-مولر	٤	٥	٥	١٦	٣٣٦	٥٠	٨	٩%
	٤	٥	٤	٨	٢١٠	٣١	١٠	١١%
BCH	٤	٥	٤	٧	١٨٩	٢٨	٨	٩%
	٤	٥	٥	١٥	٣١٥	٤٧	٧	٨%

جدول (٢٢-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز فحص التماثل كترميز خارجي مع بقية  
الانواع وباستخدام البعثة ونسبة خطأ ١٥%

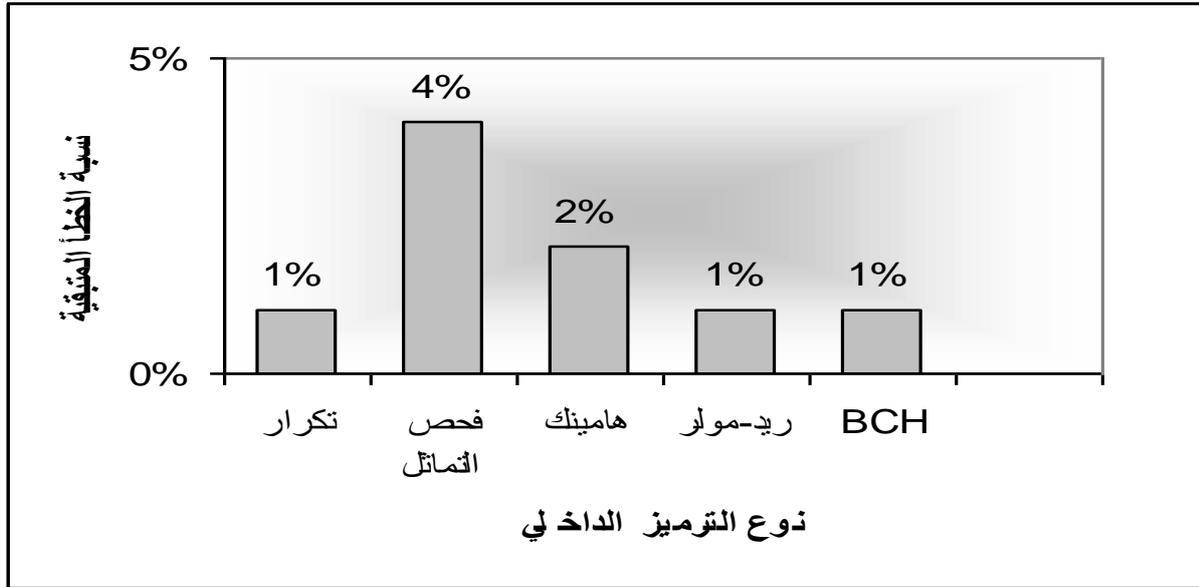
نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرمزة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٤	٥	١	٣	٣١٥	٧٨	١٤	١٦%
فحص التماثل	٤	٥	٤	٥	١٣٠	٣٢	١٩	٢٢%
هامينك	٤	٥	٣	٦	٢١٠	٥٢	١٥	١٧%
ريد-مولر	٤	٥	٥	١٦	٣٣٦	٨٤	١٣	١٤%

١٧%	١٦	٥٢	٢١٠	٨	٤	٥	٤	
١٦%	١٥	٤٧	١٨٩	٧	٤	٥	٤	BCH
١٣%	١٢	٧٨	٣١٥	١٥	٥	٥	٤	

جدول (٣-٢٣) يوضح نتائج الترابط لترميز فحص التماثل كترميز خارجي مع بقية

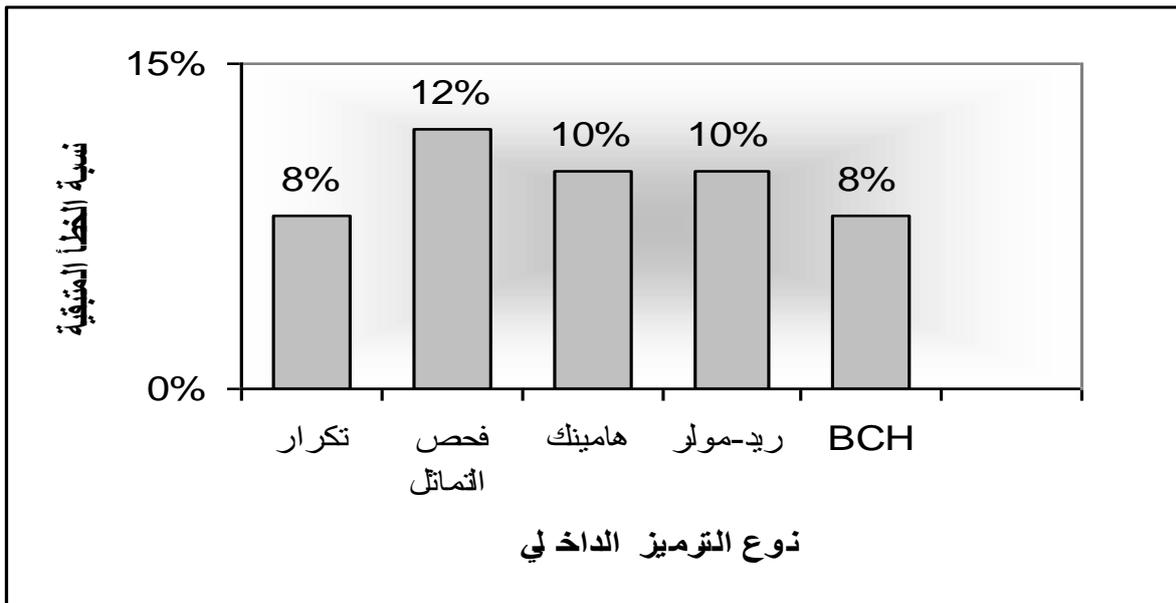
الانواع وباستخدام البعثة ولنسبة خطأ ٢٥٪

اما المعدلات النهائية لنسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز SPC ترميزا خارجيا كالاتي :

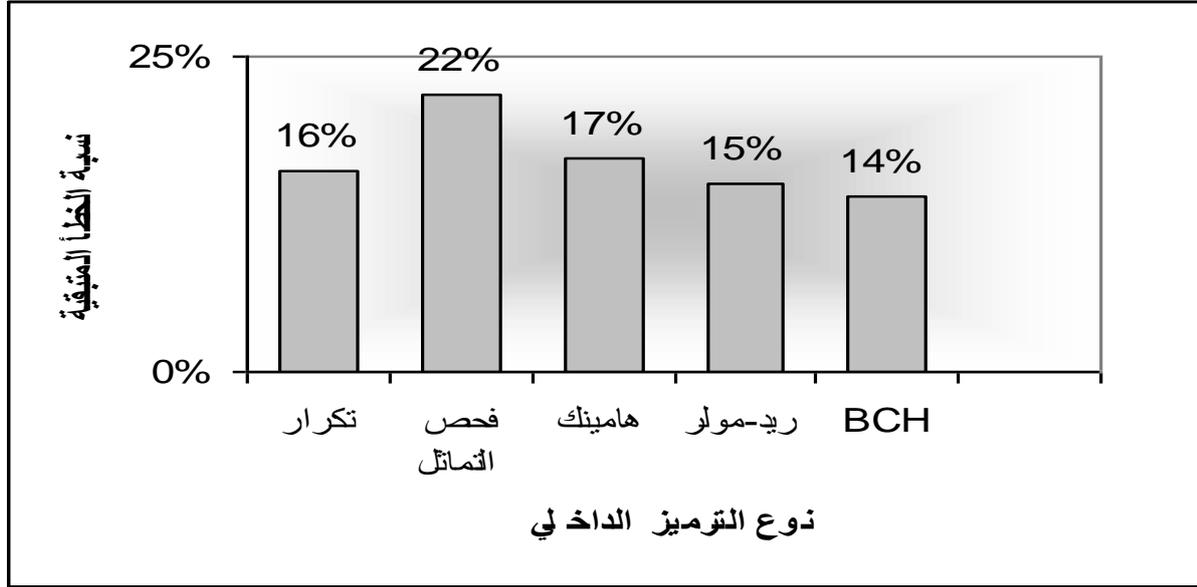


شكل (٣-٢١) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز SPC ترميزا

خارجيا ولنسبة خطأ ٥٪



شكل (٢٢-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون الترميز SPC  
ترميزا خارجيا ولنسبة خطأ ١٥٪



شكل (٢٣-٣) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون الترميز SPC  
ترميزا خارجيا ولنسبة خطأ ٢٥٪

٣- عندما يكون ترميز هامينك ترميزا خارجيا وتجربة بقية الانواع كترميز داخلي كانت النتائج كالاتي :

نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٣	٦	١	٣	٥٠٤	٢٥	صفر	صفر%
فحص التماثل	٣	٦	٤	٥	٢١٠	١٠	١	١%
هامينك	٣	٦	٧	١١	٢٦٤	١٣	صفر	صفر%
ريد-مولر	٣	٦	٧	١١	٢٦٤	١٣	صفر	صفر%
	٣	٦	٥	١٦	٥٤٧	٢٧	صفر	صفر%
BCH	٣	٦	٤	٧	٢٩٤	١٤	صفر	صفر%
	٣	٦	٧	١٥	٣٦٠	١٨	صفر	صفر%

جدول (٢٤-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز هامينك كترميز خارجي مع بقية الانواع  
وباستخدام البعثة ونسبة خطأ ٥%

نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٣	٦	١	٣	٥٠٤	٧٥	٤	٥%
فحص التماثل	٣	٦	٤	٥	٢١٠	٣١	١١	١٢%
هامينك	٣	٦	٧	١١	٢٦٤	٣٩	١٠	١١%
ريد-مولر	٣	٦	٧	١١	٢٦٤	٥٠	٩	١٠%
	٣	٦	٥	١٦	٥٤٧	٨٢	٥	٦%
BCH	٣	٦	٤	٧	٢٩٤	٤٤	٨	٩%
	٣	٦	٧	١٥	٣٦٠	٥٤	٦	٧%

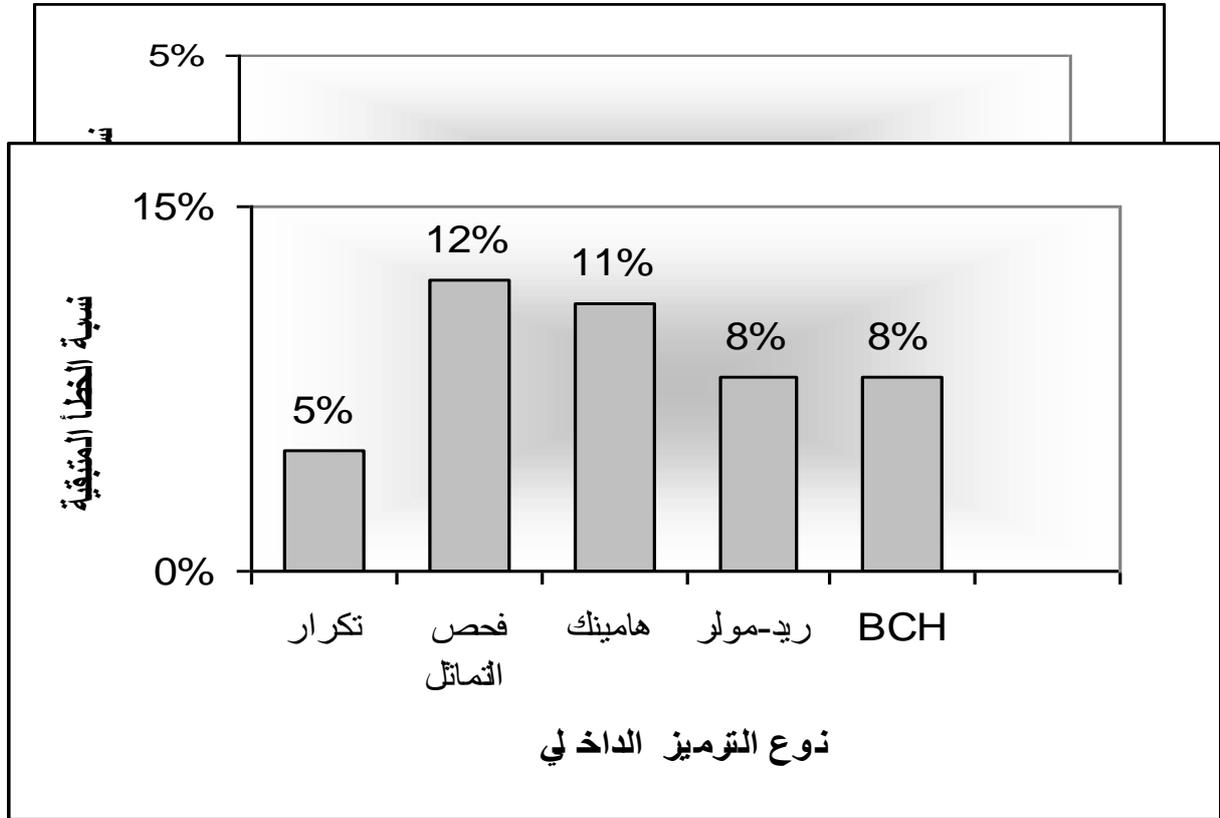
جدول (٢٥-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز هامينك كترميز خارجي مع بقية الانواع  
وباستخدام البعثة ونسبة خطأ ١٥%

نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٣	٦	١	٣	٥٠٤	١٢٦	١٢	١٤%
فحص التماثل	٣	٦	٤	٥	٢١٠	٥٢	٢١	٢٤%
هامينك	٣	٦	٧	١١	٢٦٤	٦٦	١٨	٢١%
ريد-مولر	٣	٦	٧	١١	٢٦٤	٨٤	١٩	٢٠%
	٣	٦	٥	١٦	٥٤٧	١٣٦	١١	١٢%
BCH	٣	٦	٤	٧	٢٩٤	٦٦	١٨	١٩%
	٣	٦	٧	١٥	٣٦٠	٩٠	١٥	١٦%

جدول (٢٦-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز هامينك كترميز خارجي مع بقية الانواع  
وباستخدام البعثة ونسبة خطأ ٢٥%

اما معدلات نسب الخطأ المتبقية بالنسبة لترميز هامينك كترميز خارجي مع بقية الأنواع  
فيمكن توضيحها كما يأتي :

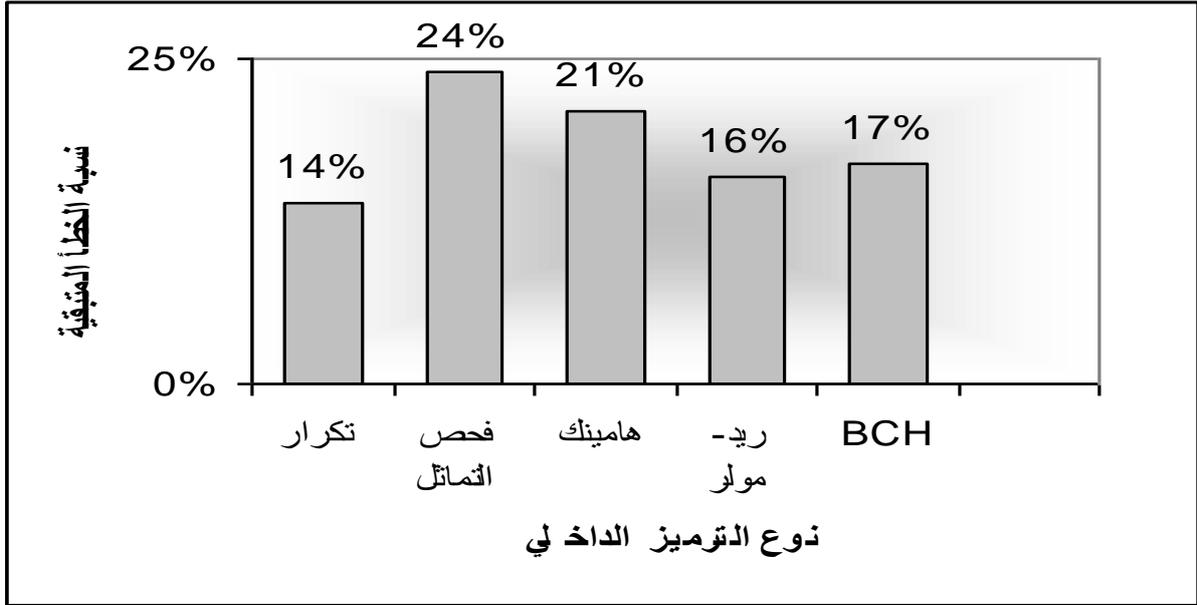
شكل (٣-٢٤) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز هامينك



ترميزا خارجيا ولنسبة ٥%

شكل رقم (٣-٢٥) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز هامينك

ترميزا خارجيا ولنسبة ١٥%



شكل رقم (٣-٢٦) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز هامينك ترميزا خارجيا ولنسبة ٢٥٪

٤- عندما يكون ترميز ريد-مولر ترميزا خارجيا وتجربة بقية الانواع كترميز داخلي كانت النتائج كالآتي :

نوع الترميز الداخلي	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$N_2$	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٥	١٦	١	٣	٨١٠	٤٠	صفر	صفر%
فحص التماثل	٥	١٦	٤	٥	٤٠٥	٢٠	١	١%
هامينك	٥	١٦	٣	٦	٥٤٠	٢٧	١	١%
ريد-مولر	٥	١٦	١١	١٦	٣٩٣	١٩	صفر	صفر%
BCH	٥	١٦	٤	٧	٢٠٣	١٠	صفر	صفر%

جدول (٣-٢٧) يوضح نتائج الترابط لترميز ريد-مولر كترميز خارجي مع بقية الانواع وباستخدام البعثة المقطعية ولنسبة خطأ ٥٪

نوع الترميز الداخلي	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$N_2$	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٥	١٦	١	٣	٨١٠	١٢١	٥	٦%

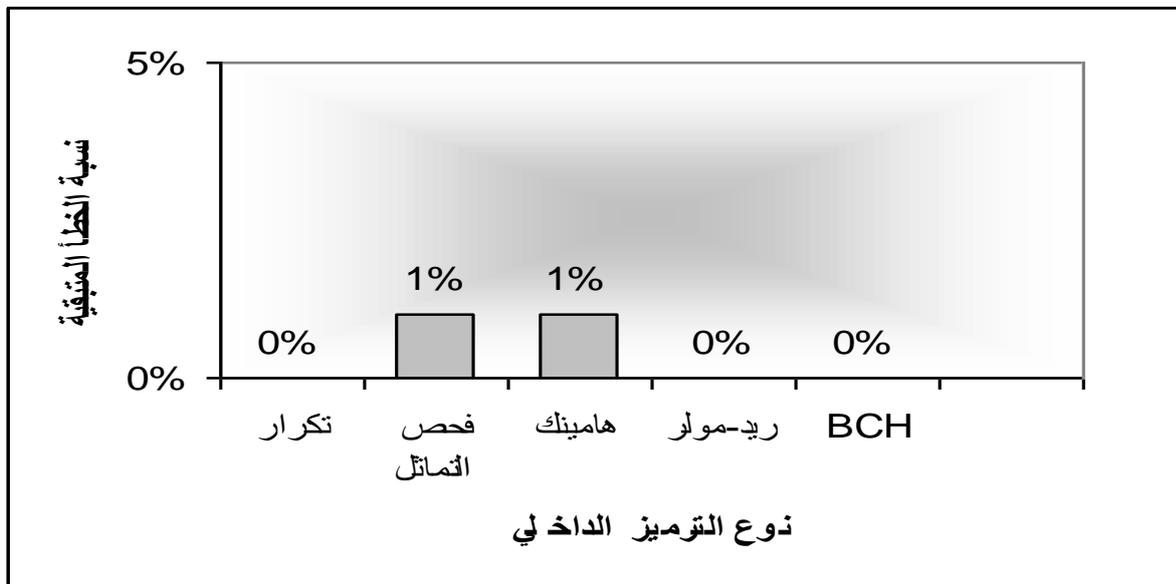
فحص التماثل	٥	١٦	٤	٥	٤٠٥	٦١	١٠	١١%
هامينك	٥	١٦	٣	٦	٥٤٠	٨١	٨	٩%
ريد-مولر	٥	١٦	١١	١٦	٣٩٣	٥٩	٤	٥%
BCH	٥	١٦	٤	٧	٢٠٣	٣٠	٦	٧%

جدول (٢٨-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز ريد-مولر كترميز خارجي مع بقية الانواع وباستخدام البعثة المقطعية ولنسبة خطأ ١٥٪

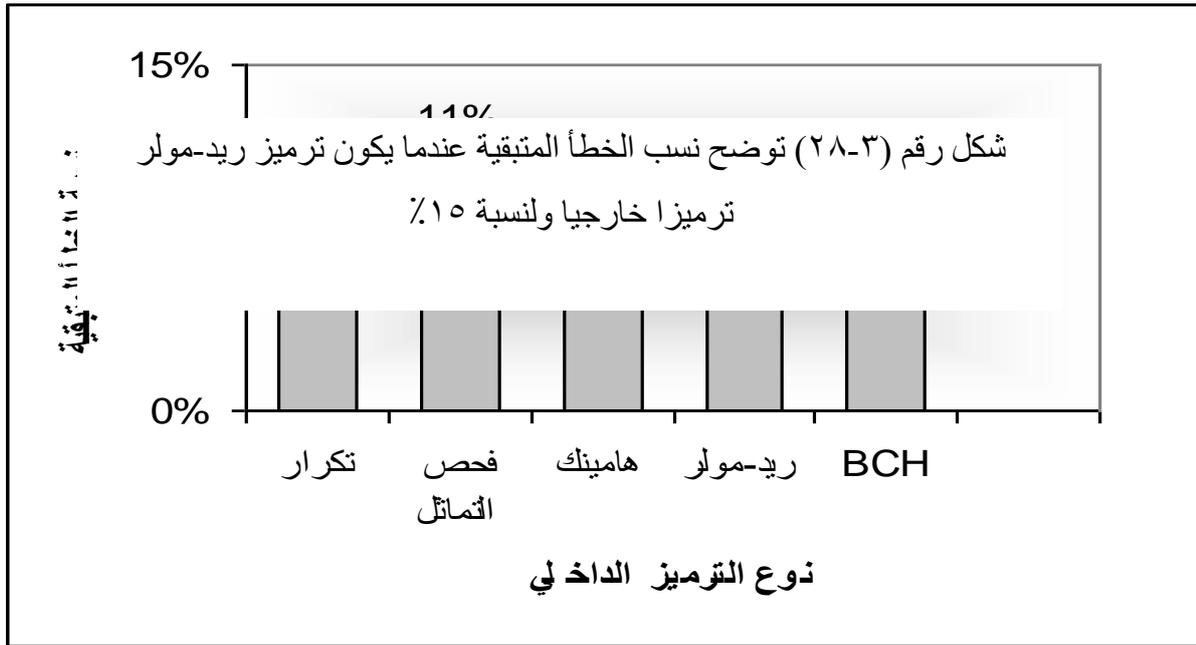
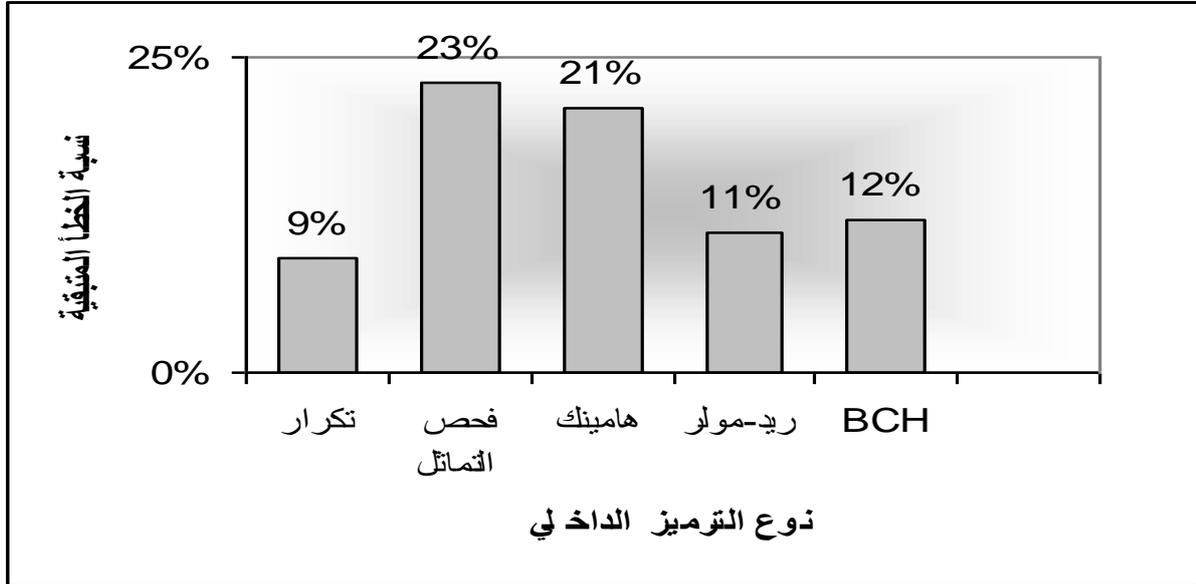
نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٥	١٦	١	٣	٨١٠	٢٠٢	٨	٩%
فحص التماثل	٥	١٦	٤	٥	٤٠٥	١٠١	٢٢	٢٣%
هامينك	٥	١٦	٣	٦	٥٤٠	١٣٥	٢٠	٢١%
ريد-مولر	٥	١٦	١١	١٦	٣٩٣	٩٨	١٠	١١%
BCH	٥	١٦	٤	٧	٢٠٣	٥١	١١	١٢%

جدول (٢٩-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز ريد-مولر كترميز خارجي مع بقية الانواع وباستخدام البعثة المقطعية ولنسبة خطأ ٢٥٪

أما معدلات نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز ريد-مولر ترميزا خارجيا ولنسب الخطأ السابقة فنكون كالاتي :



شكل رقم (٣-٢٧) توضح نسب الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز ريد-مولر  
ترميزا خارجيا ولنسبة ٥%.



شكل رقم (٣-٢٩) توضح نسب الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز ريد-مولر

ترميزا خارجيا ولنسبة ٢٥%.

٥- عندما يكون ترميز BCH ترميزا خارجيا وتجربة بقية الانواع كترميز داخلي كانت النتائج

كالآتي :

نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرمزة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٤	٧	١	٥	٧٣٥	٣٦	صفر	صفر%

فحص التماثل	٤	٧	٤	٥	١٨٤	٩	١	١%
هامينك	٤	٧	٣	٦	٢٩٤	١٥	صفر	صفر%
ريد-مولر	٤	٧	٥	١٦	٤٧٠	٢٣	١	١%
BCH	٤	٧	٧	١٥	٣١٥	١٦	صفر	صفر%

جدول (٣٠-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز BCH كترميز خارجي مع بقية الانواع وباستخدام البعثة المقطعية ولنسبة خطأ ٥٪

نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٤	٧	١	٥	٧٣٥	١١٠	٣	٤%
فحص التماثل	٤	٧	٤	٥	١٨٤	٢٧	١٣	١٤%
هامينك	٤	٧	٣	٦	٢٩٤	٤٤	١٠	١١%
ريد-مولر	٤	٧	٥	١٦	٤٧٠	٧٠	٨	٩%
BCH	٤	٧	٧	١٥	٣١٥	٤٧	٧	٨%

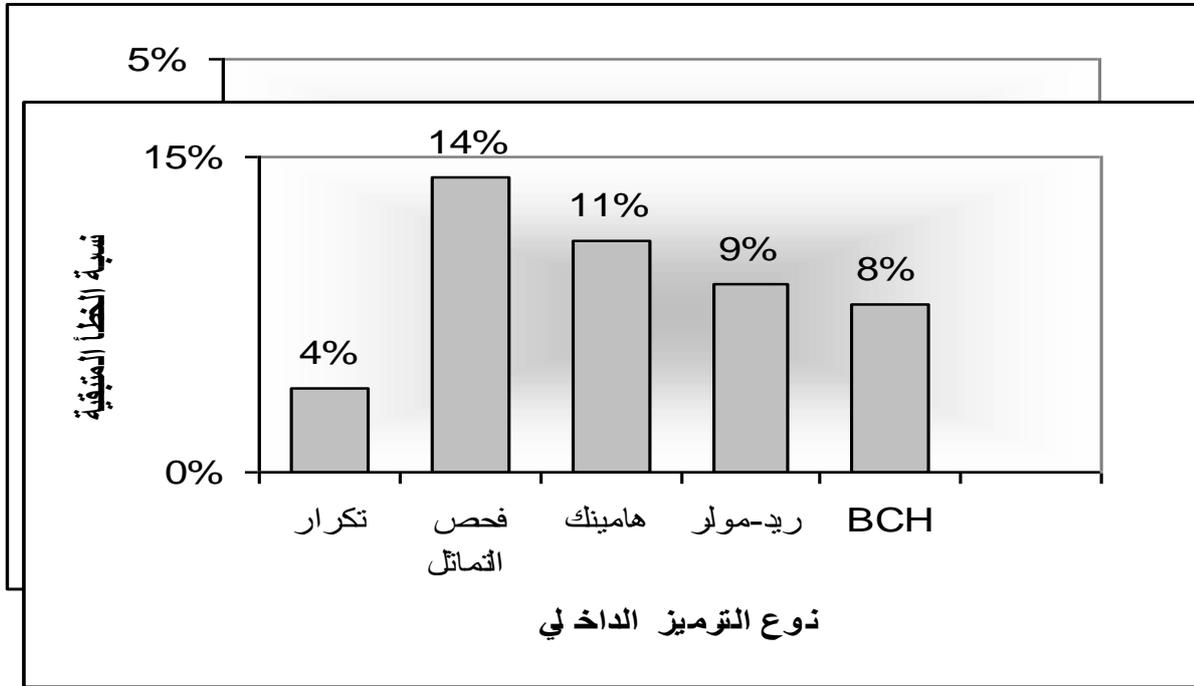
جدول (٣١-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز BCH كترميز خارجي مع بقية الانواع وباستخدام البعثة المقطعية ولنسبة خطأ ١٥٪

نوع الترميز الداخلي	k ١	n ١	k ٢	N ٢	عدد البتات المرزمة	عدد الأخطاء المتولدة	عدد الأخطاء المتبقية	نسبة الخطأ المتبقية
التكرار	٤	٧	١	٥	٧٣٥	١٨٤	٦	٧%
فحص التماثل	٤	٧	٤	٥	١٨٤	٤٦	٢٢	٢٣%
هامينك	٤	٧	٣	٦	٢٩٤	٧٣	٢١	٢٢%
ريد-مولر	٤	٧	٥	١٦	٤٧٠	١١٧	١٥	١٦%
BCH	٤	٧	٧	١٥	٣١٥	٧٩	١٠	١١%

جدول (٣٢-٣) يوضح نتائج الترابط لترميز BCH كترميز خارجي مع بقية الانواع وباستخدام البعثة المقطعية ولنسبة خطأ ٢٥٪

توضح الأشكال الآتية معدلات نسب الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز BCH ترميزا خارجيا ولنسب الخطأ السابقة :

شكل رقم (٣-٣٠) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز BCH

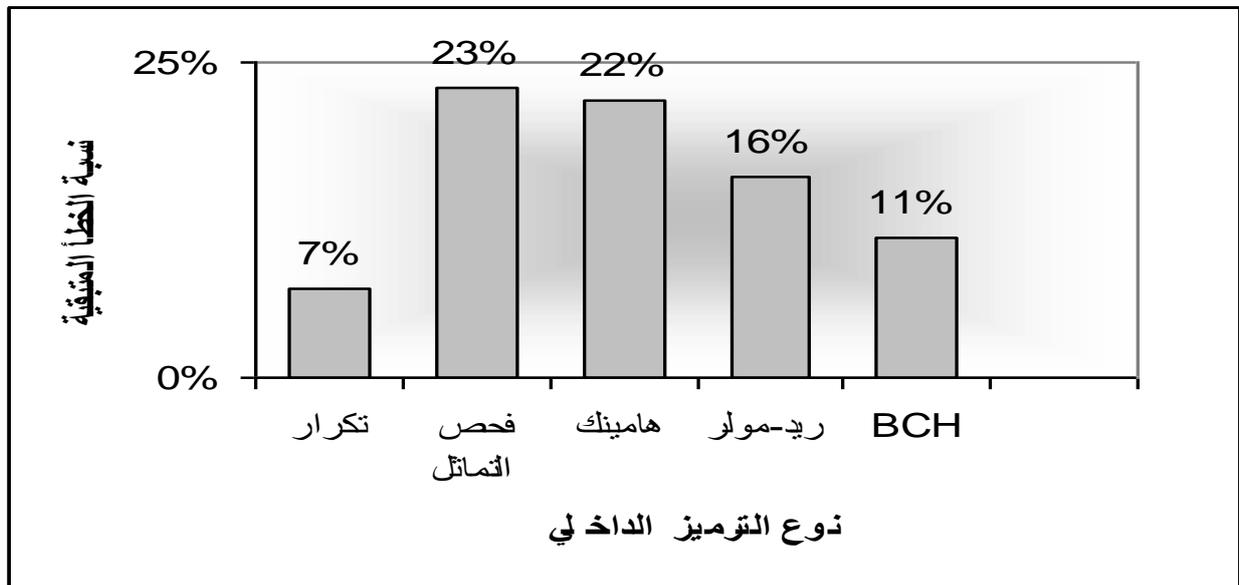


ترميزا خارجيا ولنسبة خطأ ٥%

شكل رقم (٣-٣١) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز BCH

ترميزا خارجيا ولنسبة خطأ ١٥%

شكل رقم (٣-٣٢) يوضح نسبة الخطأ المتبقية عندما يكون ترميز BCH



### ترميزا خارجيا ولنسبة خطأ ٢٥٪

من ملاحظة الجداول والأشكال أعلاه تبين أن إجراء الترابط بين نوعين من الترميز له اثر ايجابيا في السيطرة على الخطأ وتقليله والحصول على قابليات مختلفة لتصحيح الخطأ تختلف باختلاف نوعي الترميز المستخدمة في الترابط والمعالج الخاصة بكل نوع . ويمكن ملاحظة التحسن الحاصل في الترابط بين نوع ضعيف في الترميز مثل ترميز SPC مع بقية الأنواع مقارنة بقابليات التصحيح لهذا الترميز عند استخدامه لوحده . وكما ملاحظ فان الترابط ( BCH- BCH ) أعطى نتائج جيدة مقارنة ببقية أنواع الترابط عدا نوع الترابط الذي يستخدم ترميز التكرار الذي يعطي قابليات تصحيح عالية ألا انه يستخدم عددا كبيرا من بتات الفائضية .

(٣-١-٣) نتائج ترميز التوربو : في هذا النوع من الترميز اعتمدت طريقة أخرى في النتائج ، لما يتصف به هذا النوع من الخصوصية من حيث استخدامه القرار المرن في عملية فك الترميز . تم تحويل بيانات الرسالة من الهيئة الثنائية (٠,١) إلى هيئة أخرى هي (١,٠) وذلك ليتسنى تطبيق المعادلات الموضحة في الفصل الأول والتي تتطلب إجراء عمليات الضرب والقسمة وبعض العمليات التي تنتج قيما حقيقية . تم تطبيق البعثة باستخدام القيم الحقيقية التي تمثل المعلومات الخارجية من فاك الترميز الأول إلى فاك الترميز الثاني .

دونت النتائج بعد تجربة ترميز التوربو بمعدي ترميز (١/٢) و (١/٣) لعدد من التكرارات التي يتم إدخالها من قبل المستخدم (٣,٦,٨) ولنسب الخطأ نفسها مع تجربة أنواع المبعثر سالفة الذكر . وكانت النتائج كالآتي :

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
صفر	صفر	١	١٢	المقطعي
صفر	صفر	٢	١٢	المقطعي المعكوس
صفر	صفر	١	١٢	العشوائي
صفر	صفر	٢	١٢	الحلزوني

صفر	صفر	١	١٢	الدائري
-----	-----	---	----	---------

جدول (٣٣-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو لـ  $R=1/3$  وبذاكرة ٢ ولنسبة خطأ ٥%

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
صفر	صفر	٣	٣٧	المقطعي
صفر	١	٣	٣٧	المقطعي المعكوس
صفر	١	٥	٣٧	العشوائي
٢	٤	٦	٣٧	الحلزوني
١	٢	٤	٣٧	الدائري

جدول (٣٤-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/3$  وبذاكرة ٢ ولنسبة خطأ ١٥%

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
١	٦	٨	٦٣	المقطعي
٤	٥	٩	٦٣	المقطعي المعكوس
٥	٧	١١	٦٣	العشوائي
٢	٧	١٠	٦٣	الحلزوني
٣	٧	٩	٦٣	الدائري

جدول (٣٥-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/3$  وبذاكرة ٢ ولنسبة خطأ ٢٥%

ولترميز توربو بمعدل  $R=1/3$  وذاكرة ٣ ولنسب الخطأ نفسها كانت النتائج كالآتي :

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
صفر	صفر	٢	١٢	المقطعي
صفر	١	٢	١٢	المقطعي المعكوس
صفر	صفر	٢	١٢	العشوائي
صفر	١	١	١٢	الحلزوني
صفر	١	١	١٢	الدائري

جدول (٣٦-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/3$  وبذاكرة ٣ ولنسبة خطأ ٥ %

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
صفر	صفر	٤	٣٧	المقطعي
صفر	١	٣	٣٧	المقطعي المعكوس
١	٢	٤	٣٧	العشوائي
١	٤	٦	٣٧	الحلزوني
صفر	١	٤	٣٧	الدائري

جدول (٣٧-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/3$  وبذاكرة ٣ ولنسبة خطأ ١٥ %

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
١	٤	١٠	٦٣	المقطعي
١	٥	٧	٦٣	المقطعي المعكوس
٣	٨	١٥	٦٣	العشوائي

٤	٩	١٤	٦٣	الحلزوني
٣	٧	١٢	٦٣	الدائري

جدول (٣٨-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/3$  وبذاكرة ٣ ولنسبة خطأ ٢٥%

وعند استخدام معدل ترميز  $R=1/2$  وذاكرة ٢ كانت النتائج كالاتي ولنسب الخطأ نفسها :

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
صفر	صفر	١	١٢	المقطعي
صفر	١	٣	١٢	المقطعي المعكوس
صفر	صفر	٢	١٢	العشوائي
صفر	صفر	٣	١٢	الحلزوني
صفر	صفر	١	١٢	الدائري

جدول (٣٩-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/2$  وبذاكرة ٢ ولنسبة خطأ ٥%

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
صفر	صفر	٤	٣٧	المقطعي
صفر	١	٣	٣٧	المقطعي المعكوس
صفر	١	٣	٣٧	العشوائي
١	٣	٥	٣٧	الحلزوني
١	٢	٤	٣٧	الدائري

جدول (٤٠-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/2$  وبذاكرة ٢ ولنسبة خطأ ١٥%

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
صفر	١	٩	٦٣	المقطعي
صفر	١	٧	٦٣	المقطعي المعكوس
١	٥	٨	٦٣	العشوائي
١	٣	٥	٦٣	الحلزوني
صفر	٣	٥	٦٣	الدائري

جدول (٤١-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/2$  وبذاكرة ٢ ولنسبة خطأ ٢٥% أما عند استخدام معدل الترميز نفسه ولكن بذاكرة ٣ ولنسب الخطأ نفسها فقد كانت النتائج كالآتي :

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
صفر	صفر	٢	١٢	المقطعي
صفر	صفر	٢	١٢	المقطعي المعكوس
صفر	صفر	٢	١٢	العشوائي
صفر	٢	٣	١٢	الحلزوني
صفر	١	٣	١٢	الدائري

جدول (٤٢-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/2$  وبذاكرة ٣ ولنسبة خطأ ٥%

عدد الأخطاء المتبقية بعد			عدد الأخطاء الناتجة	نوع المبعثر
٨ تكرارات	٦ تكرارات	٣ تكرارات		
صفر	١	٥	٣٧	المقطعي
صفر	١	٣	٣٧	المقطعي المعكوس

العشوائي	٣٧	٧	٣	صفر
الحلزوني	٣٧	٤	٢	١
الدائري	٣٧	٢	١	صفر

جدول (٤٣-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/2$  وبذاكرة ٣ ولنسبة خطأ ١٥ %

نوع المبعثر	عدد الأخطاء الناتجة	عدد الأخطاء المتبقية بعد		
		٣ تكرارات	٦ تكرارات	٨ تكرارات
المقطعي	٦٣	٦	٤	٢
المقطعي المعكوس	٦٣	٨	٣	١
العشوائي	٦٣	٥	٤	١
الحلزوني	٦٣	٩	٥	١
الدائري	٦٣	٨	٢	١

جدول (٤٤-٣) يوضح نتائج ترميز التوربو بـ  $R=1/2$  وبذاكرة ٣ ولنسبة خطأ ٢٥ %

(٢-٣) المناقشة والاستنتاجات :

بعد ملاحظة الجداول أعلاه والتي تشير إلى عدد الأخطاء التي تم تصحيحها وعدد الأخطاء المتبقية لكل نوع من أنواع الترميز أعلاه ولنسب مختلفة تبين أن ترميز التوربو يعد الاختيار الأمثل في أنظمة الترميز حيث أن عدد الأخطاء المتبقية بعد عملية فك الترميز تكاد تكون معدومة أما فيما يخص ترميز الترابط التقليدي فقد حقق الترابط ( BCH, BCH ) أفضل النسب بالمقارنة مع أنواع الترابط الأخرى .

وقد حقق ترميز التكرار نتائجاً جيدة جداً في تصحيح الأخطاء ولكنه يستخدم عدد كبير من بتات الفائضية ، أما ترميز فحص التماثل المفرد فقد كان الأسوأ في كل الحالات .

ومن خلال ما سبق تم التوصل إلى :

- ١- إن ترميز BCH أفضل أنواع الترميز المقطعي .
- ٢- إن أداء الترميز الالتفافي مقارب لأداء ترميز BCH .
- ٣- إن المبعثر المقطعي أفضل الأنواع المستخدمة لكلا نوعي الترابط .
- ٤- إن زيادة التكرارات في ترميز التوربو يزيد قابليات تصحيح الخطأ .
- ٥- إن ترميز هامينك يؤدي في بعض الأحيان إلى زيادة نسبة الخطأ لأنه لا يمكنه اكتشاف الأخطاء الأكثر من خطأ واحد .
- ٦- بسبب العشوائية في اختيار مواقع الخطأ فقد كان هناك تفاوت في أداء المبعثر حيث لم تؤد عملية البعثرة في بعض الأحيان إلى بعثرة الأخطاء بصورة جيدة .
- ٧- أظهر ترميز التوربو نتائجاً متقاربة لمختلف الحالات وهذا يعزى لقصر مقطع البيانات التي تم العمل عليها .

### ( ٣ - ٣ ) الأهداف المستقبلية :

- ١- العمل على بيانات صورة وملاحظة أداء النظام .
- ٢- العمل على أنواع أخرى من الترابط مثل الترابط الالتفافي التسلسلي .
- ٣- العمل على الترميز الالتفافي النسيجي Woven Convolutional Codes .
- ٤- تجربة نسب أخرى للخطأ مع معدلات ترميز مختلفة .
- ٥- تجربة ترميز التوربو متعدد الأبعاد ( ترابط لأكثر من مرمزين ) .
- ٦- تجربة فك ترميز التكرار على نوع الترابط المقطعي التقليدي .
- ٧- تجربة أداء ترميز التوربو عند استخدام مقطع بيانات كبيرة ( أي عندما يكون

حجم المبعثر كبيراً ) .

## المصادر

- [١] G.D.Forney, Concatenated Codes, MIT Press, Cambridge, Mass., ١٩٦٦
- [٢] E.R.Berlekamp, Algebraic Coding Theory, New York, McGraw- Hall, ١٩٦٨
- [٣] W.W.Peterson and E. J. Weldon , Error-Correcting Codes, Addison Wesley Publishing Company , London , ١٩٧١ .
- [٤] L.N.Lee, IEEE Transactions on Communications, COM-٢٥, ١٠, (١٩٧٣)
- [٥] L.R.Bahl, J.Cocke, F.Jelinek, J.Raviv, IEEE Transaction on Information Theory, IT-٢٠, (١٩٧٤)
- [٦] G.C.Clark, J.B.Cain, Error –Correction Coding for Digital Communications, New York, Plenum, ١٩٨١
- [٧] K.Tokiwa , T.Sugimura , M.Kasahara , T.Namekawa , IEEE Transaction on Information Theory , IT ٢٨, ٥, (١٩٨٢)
- [٨] S.Lin , D.J.Costello , Error Control Coding : Fundamental and

Applications, Printice\_Hall,Englewood Cliffs, ۱۹۸۳.

[ ۹ ] T.Kasami, T.Fujiwara, S.Lin, IEEE Transactions on Commnuications  
 ,COM-۳۴,۵,(۱۹۸۶)

[ ۱۰ ] P.C.Hershey, A.Ephremides, R.K.Khatri, IEEE Transactions on  
 Communications ,COM-۳۵,۵,(۱۹۸۷)

[ ۱۱ ] M.A.Herro , D.J.Costello, L.Hu, IEEE Transactions on Information  
 Theory, ۳۴,۲,(۱۹۸۸)

[ ۱۲ ] J.Justesen , C.Thommesen , V.V.Zyablov , IEEE Transaction on  
 Information Theory ۳۴,۵,(۱۹۸۸)

[ ۱۳ ] T.K.Truong , IEEE Transaction on Information Theory , Marc  
 , ۱۹۹۲

[ ۱۴ ] B.Vucetic, IEEE Transactions on  
 Communications, ۴۱, ۱,(۱۹۹۳)

- [ ۱۵ ] C.Berrou, A.Glavieux, P.Thitimajshima, Icc, Geneva, Switzerland, ( ۱۹۹۳ )
- [ ۱۶ ] W.E.Ryan, Turbo Code Tutorial , New Mexicon State University , ( ۱۹۹۳ )
- [ ۱۷ ] S.A.Barbulescu, S.S.Pietron, Electron.Lett., ۳۰, ۲۵, ( ۱۹۹۴ )
- [ ۱۸ ] P.Robertson, Proc.GLOBECOM, ۳, San Francisco, California, ( ۱۹۹۴ )
- [ ۱۹ ] S.dolar, D.Divsalar, JPL Progress report ۴۲, California, ( ۱۹۹۵ )
- [ ۲۰ ] D.Divsalar, F.Pollara, TDA Progress Report ۴۲-۱۲۰, California, ( ۱۹۹۵ )
- [ ۲۱ ] S.Benedetto, G.Montorsi, Electronics Letters, ۳۱, ۳, ( ۱۹۹۵ )
- [ ۲۲ ] S.A.Barbulescu, Iterative Decoding of Turbo Codes and Other Concatenated codes, PH.D.thesis, University of South Australia, ۱۹۹۶
- [ ۲۳ ] L.C.Perez, J.Seghers, D.J.Costello, IEEE Transactions on Information

Theory, ۴۲, ۶, (۱۹۹۶)

[۲۴] G.W. Stephen, Digital Modulation and Coding, Publishing House of Electronics Industry-Beijers, Newyork, ۱۹۹۶

[۲۵] J.Anderson, V.Zyablov, in Proc.Int.Symp.on Turbo Codes and Related Topics, Brest, France, (۱۹۹۷)

[۲۶] W.Buchanan, Advanced Data Communications and Networks, Chapman and Hall, London, ۱۹۹۷

[۲۷] F. Hung, Evaluation of Soft Output Decoding for Turbo Codes, M.Sc Thesis, ۱۹۹۷

[۲۸] S.Crozier, P.Guinand, J.Lodge, A.Hunt, the ۶-th International Conference on Digital Signal Processing Teqniques for Space Aplications (DSP '۹۸), Estec, Noordwijk, The Netherlands (۱۹۹۸)

- [ ٢٩ ] W.Hadi, Advanced Coding Techniques for Severely Distorted Channels ,M.Sc thesis, Sadam University, ٢٠٠٠
- [ ٣٠ ] O.Y.Takeshita , D.J.Costello, IEEE Transaction on Information Theory , ٤٦, ٦,(٢٠٠٠)
- A.Burr, Electronic & Communication Engineering Journal,(٢٠٠١)
- [ ٣١ ]
- [ ٣٢ ] H.Hadi,Simulation of Turbo encoder-decoder Performance, Ph.D.thesis,University of Bahgdad, ٢٠٠١

# *Abstract*

Programmed system has been constructed to achieve the main goal of thesis “ Evaluation of concatenated code systems for error control “.

The system consists of several stages. The first stage include generation of source data by inputting english phrase to be translated to binary system , then using the resulting data . The second stage is coding , working on number of types of coding (one stage code , concatenated with two stages) .The type of codes which its performance would be tested has been chosen by user . The one stage code includes the following types of coding :repetition code , single parity check code , Hamming code , Reed-Muller code , BCH code , and convolutional code .The concatenated codes has been done by using two types of code : traditional concatenated – using outer code and inner code- ,and Turbo code with two coding rates  $1/2$  and  $1/3$  . Five types of interleavers has been used to test affected on performance of concatenated types . There are : block interleaver , block inverse interleaver , random interleaver , helical interleaver , and circular shifting interleaver .

The adding noise to resulting coding bits is the third stage , choosing the error rate which is to be added either by choosing the error locations by user , or choosing them randomly using Rand() function . The fourth stage is decoding based on coding method used .

Finally , after the process of decoding is finished , the remaining errors would be calculated and translate the resulting bits to its original form.

This system programmed in BORLAND C++ version 6.0 .