تمثيل الانظمة المستمرة على الحاسبة الالكترونية

Simulation of Continuous systems or digital computers

الدكتور محمد زكي محمد خضر
مدير حاسبة جامعة الموصل

1 ـ مقدمة :ـ

هناك ثلاث طرق لتمثيل الانظمة المستمرة Simulation of Continuous Systems وهي التمثيل التناظري analog والرقمي digital والهجيني hybrid تقوم الحاسبات التناظرية Analog computer بتمثيل الانظمة مستندة الى التماثل بين المتغيرات الرياضية الخاصة بالمسالة والمتغيرات الفيزياوية(عادةهي الفولتيات) ، باستخدام عناصر حسابية تعمل سوية بوقت واحد . وتتم برمجة الحاسبة التناظرية بتوصيل مداخل ومخارج العناصر الحسابية مع بعضها وفي مخطط تمثيل الدائرة بواسطة اسلاك توصيل . ان الحاسبات التناظرية هي حاسبات فعالة لحل مسائل تمثيل الانظمة التي توصف بمعادلات تفاضلية Differential Equations . ومن فوائدها التشابه التام بين ربط العناصر الحسابية والتركيب الرياضي للمعادلات التي تصف الانظمة الحقيقية . وهذا

هو احد اسباب الاستمرار في تدريس الحاسبات التناظرية في مناهج الهندسة الكهربائية في الجامعات المختلفة . الا ان هناك تحديدات في عمل وامكانيات الحاسبات التناظرية وبالاخص عند القيام بعمليات منطقية logic Operations اضافة لعدم احتوائها على ذاكرة Memory كما ان دقتها الحسابية محدودة .

لقد تم ادخال استعمال الحاسبات الهجينية Hybrid computers في نهاية الخمسينات وبداية الستينات من هذا القرن،مما طور عمل الحاسبات التناظرية واعطاها امكانية اجراء العمليات المنطقية التي تقوم بها الحاسبات الرقمية . تستطيع الحاسبات التناظرية القيام بتمثيل الانظمة بسرعة كبيرة . اما الحاسبات الرقمية الاولى فقد كانت ابطأ في هذا المضمار من الحاسبات التناظرية نظرا لقيام الاولى بالحل خطوة خطوة وليس بعمليات متعددة بوقت واحد . تحتوي الحاسبات الرقمية بالمقارنة مع الحاسبات التناظرية على دقة عالية وذاكرة كبيرة لخزن المعطيات . يمكن ان تتم الحسابات الهجينية فعلا عند اقتسام الحل بين الحاسبات الرقمية والتناظرية(1) .

يحوي استخدام الحاسبات الرقمية في مسائل التمثيل على تكامل معادلات الحالة State Equations وذلك بتقريب المعادلات التفاضلية الى معادلات جبرية في حدود زمنية معينة.لقد اشتهرت استخدامات الحاسبات الرقمية منذ بداية الستينات في حقل تمثيل الانظمة على حساب استخدامات الحاسبات التناظرية ، الا ان استخدام الحاسبات التناظرية له مايميزه نظرا للتشابه الفيزياوي مع الانظمة الحقيقية . سنتعرض في هذا المقال الى استخدام الحاسبات الالكترونية الرقمية في تمثيل الانظمة المستمرة ونحاول وصف بعض اللغات المستخدمة لذلك مع اعطاء مثال على ذلك .

2 ـ لغات التمثيل الرقمي Digital Simulation Languages

ان الحل المتعاقب والمتسلسل للحاسبات الرقمية يتطلب ان تتم كافة الاجراءات بشكل متسلسل من قبل الوحدة الحسابية للحاسبة بدل الحل بوقت واحد كما تقوم الحاسبة التناظرية بذلك . وعلى فرض اعطاء وقت

كاف للحاسبات الرقمية لتقوم بعملياتها فان بامكانها الوصول الى نتائج بالدقة المطلوبة في معظم الاحيان . يعتمد تمثيل الانظمة باستخدام الحاسبات الرقمية على اللغة المستخدمة لتمثيل النظام على الحاسبة . تستطيع بعض لغات التمثيل الرقمي وصف الانظمة التي يمكن وصف تصرفها بمعادلات تفاضلية فقط . وتستخدم لغات اخرى مخططات كتلية Block Diagrams لوصف الانظمة ، بينما تقبل لغات ثالثة وصف الانظمة كعدد من الدوال التحويلية Transfer functions المتصلة مع بعضها البعض كما تقبل بعض لغات التمثيل الرقمي اكثر من طريقة واحدة لوصف الانظمة . وبصورة عامة يمكن تقسيم لغات تمثيل الانظمة على الحاسبات الرقمية الى ثلاثة انواع .

لغات تمثيل الانظمة المستمرة Continuous System Simulation Languages

لغات تمثيل الانظمة المتقطعة Discrete System Simulation Languages

لغات تمثيل الانظمة المشتركة اى المستمرة والمتقطعة

3 – لغات تمثيل الانظمة المستمرة

ظهر في بداية الستينات عدد من لغات تمثيل الانظمة المستمرة(2) . ولئلا تزداد هذه اللغات دون تنسيق وتقييس فقد قام معهد التمثيل على الحاسبات الالكترونية بتشكيل لجنة اوضع اسس للغة تجمع محسنات كل اللغات التي كانت معروفة وتضع قواعد اساسية يمكن الانطلاق منها عند البدء باية لغة جديدة . وقد تطورت هذه المقترحات وكانت هي الاساس لكافة اللغات التي ظهرت فيما بعد . لقد كانت لغة CSMP التي طبقتها شركة IBM على حاسبات 1130 و360 و 370 من اللغات الشائعة التي ظهرت في نهاية الستينات وقد استند بعضها على مقترحات اللجنة المذكورة اعلاه .

لقد كتبت لغات اخرى باستخدام لغة الماكنة machine language مما ولد بعض الصعوبات عند محاولة نقلها من حاسبة لاخرى . ومن لغات تمثيل الانظمة المستمرة التي يمكن نقلها من حاسبة لاخرى DARE-P التي كتبت بلغة فورتران ، حيث يمكن نقلها من حاسبة لاخرى بسهولة بتغييرات طفيفة .

وستؤخذ هنا كمثال على مثل هذه اللغات . وبصورة عامة تكون المعادلات التفاضلية التي يجري حلها على الحاسبة الالكترونية عند تمثيل الانظمة المستمرة بالشكل .

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i \left(x_1 , X_2 , X_3 \ldots X_n , U_1 (t) , U_2 (t) , \ldots U_m (t) \right) \quad (1)$$

وتمثل هذه المعادلة عددا مقداره n من المعادلات التفاضلية الاعتيادية تحوي المتغيرات $X_1 , X_2 \ldots X_n$ ودوال الادخال $U_1 (t) , U_2 (t) \ldots U_m (t)$ عند حل مثل هذه المعادلات على الحاسبة التناظرية ، تمثل المتغيرات $X_1 , X_2 , \ldots X_n$ كفولتيات خارجة من مكاملات Integrators بينما دوال الادخال $X_1 , X_2 \ldots X_n$ كفولتيات معتمدة على الزمن . تحسب الدوال المختلفة fi بصورة مستمرة باستخدام جهاز الضرب Multiplier على الالة التناظرية او مولدات الدوال Function Generators ومضخات الجمع Summing Amplifiers . وتتم مكاملة الدوال fi بصورة مستمرة بالمكاملات التناظرية Analog Integrators لانتاج الدالة المتغيرة مع الزمن Xi وبذا تنغلق دارة Loop الحاسبات . اما التصرف المتحرك او الاستجابة المتحركة Dynamic Response للحاسبات الرقمية فيعتمد على الزمن المطلوب لكل العمليات الرقمية وكيف تقوم هذه العمليات بحل مثل هذه المعادلات .

هناك عامل مهم يبرز في الحاسبات الرقمية الا وهو الفترة الزمنية time interval المستخدمة في التكامل الرقمي numerical integration للمعادلات كما يعتمد الناتج على الخوارزم algorithm المستخدم في مثل هذا التكامل . تعطي بعض لغات تمثيل الانظمة امكانية استخدام خوارزم من ضمن مجموعة من الخوارزميات المتوفرة . ويمكن تغيير الفترة الزمنية للتكامل اثناء عملية التكامل نفسها وفي الخوارزم المستخدم ومن ثم تمنح امكانية تقليل وقت التمثيل وذلك بزيادة الفترة دون ان يتعدى الخطا الحد المسموح به اثناء الحل . وحينما تطلب دقة اكبر تصغر الفترة الزمنية المستخدمة .

ان السيطرة على عمليه التمثيل يمكن ادخالها في لغات تمثيل الانظمة

المستمرة ضمن جـــزء المنطق logic section في البرنامج . ويمكن تجهيز الظروف الابتدائية initial conditions في جزء اخر . اما اذا احتوى النموذج Model على معادلات جبرية ، فيمكن احتوائها ضمن جزء النموذج modelling section او ضمن جزء خاص ملحق بجزء النموذج. وسنمر على تفاصيل اكثر من ذلك عند توضيح لغة DARE-P

4 ـ لغـــــــة DARE-P

لغرض توضيح تمثيل الانظمة المستمرة سناخذ احد الامثلة عليها(3) . وقد اخترنا لغة DARE-P لخواصها المفيدة في قابلية النقل من حاسبة لاخرى وسهولة كتابة المسائل بواسطتها واحتوائها على معظم خواص اللغات الاخـــرى . ان تسمية هـــذه اللغة هي الحروف الاولـــى مـــن الكلمات

(Differential Analyser Replacement - Portable)

وقد تم تطويرها في جامعة اريزونا بالولايات المتحدة الامريكية .

ان كل مايتطلبه استخدام هذه اللغة هو اتقان المبرمج للغـــة فورتران Fortran وتعلم قواعد محدودة لكيفية كتابة الجمل Statements عند تمثيل المسالة . وقد بدأ تعليم ذلك في بعض مراحـل الدراسة الجامعية الاوليـة في قسم من الجامعات .

يحوى برنامج DARE-P الاعتيادي على ثلاثة اجزاء :

جزء وصف النموذج Model description وجزء الظروف الابتدائيـة Initial Conditions وجـــزء طلب النتائج output request وينتهي كل جزء من هذه الاجزاء ببطاقة تحوى عبارة END . وفيما يلي تفصيل هذه الاجزاء .

1.4 ـ وصـف النمـــــوذج :

يتم وصف النموذج بواسطة فقرات او مقاطع blocks تقوم كل فقرة باخبار النظام عن شيء مختلف من النموذج . تبدأ كـل فقرة ببطاقة تبتدىء بعلامة الدولار في الحقل الثاني من البطاقة يليها حرف او اكثـر يميز الفقرة .

تدعى المعادلات التفاضلية والجبرية التي تصف الانظمة بمعادلات الحالة State equations وتدخـل في فقرة التفاضل . يرمز للتفاضل بنقطة تلي المتغير ، فمثلا المعادلة

$$\frac{dy}{dt} = y + t \qquad (2)$$

تكتـب بشكـــــل

$$Y. = Y + T \qquad (3)$$

اما المعادلات الجبرية فتكتب كما هي عدا وضع المتغير المعتمد على الجهة اليسرى كما يمكن لفقـــرة التفاضل ان تحـــوى قطعاً توضح طريقة الحـل procedural segments تشبه البرامج الثانوية بلغة فورتران ، الا انهـا لاتحتاج الى جملة استدعاء CALL statement ويمكن لمثل هذه القطع ان تحتوى على اى عـــدد من جمل فورتران علـــى ان تبتدىء بـ PROCED وتنتهي بـ ENDPRO

اما الفقرة الثانية التي تصف النموذج فهي فقرة المنطق . يمكن لمثل هذه الفقرة ان تحذف جملة وتفصيلا وعند ذلك يستعاض عنها بفقرة من البرنامج نفسه تحوي جملة واحـــدة هي CALL RUN والتي تقوم بحل فقرة التفاضل مرة واحدة على طول الفقرة الزمنية المحددة بالزمـــن TMAX المعطاة في جزء الظروف الابتدائية .

يمكن لفقرة المنطق ان تحتوى على اى جملة فورتران عـــدا جمل الدالة FUNCTION والبرامج الثانوية SUBROUTINE وجملة الانتهاء END

اما الفقرة الثالثة وهي فقرة اختيارية ايضا فهي فقرة الجداول ، والتي يمكن ان تحوى جداول ذات بعد واحد او بعدين . تماثل الجداول ذات البعد الواحد في عملها عمل مولد الدالة في الحاسبات التناظرية .

هناك فقرات اخرى يمكن ان يتضمنها وصف النموذج مثل فقرة فورتران والتي يمكن ان تحوى اى دوال او برامج ثانويـــة مكتوبة بلغة فورتران كما يمكن اضافة فقرة لتحديد طريقة حـــل التكامل الرقمي ويمكن ان يختـار المستخدم واحدا من اثنى عشر طريقة لحل المعادلات التفاضلية وهناك فقرات اختيارية اخرى كفقرة اضافية للتفاضل وفقرة خاصة بالمستخدم برموز خاصة به وفقرة للتحكم في الطبـــع .

هناك دوال Functions في مكتبة النظام System Library يمكن للمستخدم ان يرجع اليها دون ان يقوم ببرمجتها هو ، ومعظم هذه الدوال هي دوال لاخطيه شائعة الاستخدام . يمكن ايقاف عملية التكامل اثناء الحل في اى لحظة وذلك بواسطة جملة خاصة تبتدىء بـ TERMINATE فاذا اخذ المتغير الذي يلي هذه الكلمة مقدارا سالبا اوقف سير الحل فجأة .

2.4 ـ الظروف الابتدائية :

يمكن اعطاء القيم الاولية للمتغيرات الرئيسية في المسألة والتي ظهرت في فقرة المنطق وفي بطاقات الادخال والمتغيرات غير المعرفة في فقرة التفاصيل . وتدون الظروف الابتدائية هذه عن طريق المساواة . كما يمكن ان تظهر قيمة اكثر من متغير واحد على بطاقة واحدة على ان يفصل فيما بينها بفارزة .

اما القيم التي لاتظهر في هذا الجزء فتعطى قيما مقدارها صفر عدا TMAX والتي من الضروري ان تعطى لها قيمة ما من قبل المستخدم حيث انها تمثل اقصى قيمة للزمن .

3.4 ـ طلب النتائج :

تخزن النتائج في ملفات الاخراج المتعددة . ويمكن للنتائج ان تدون بشكل جداول او ان ترسم على جهاز الطبع Line Printer او ان ترسم على جهاز الرسم graph plotter كما يمكن ان تخزن على ملف دائمي من ملفات الحاسبة لاستخدامه في برنامج اخر . ويحوي كل امر يطلب نتيجة جملة واحدة او اكثر من جملة واحدة وفق اسلوب معين .

5 ـ مثال

النموذج المتحرك للعالم World Dynamics Model

1.5 ـ عرض المسألة :

لغرض بيان استخدام لغة DARE-P سناخذ ، النموذج المتحرك للعالم كمثال ونحاول حله باستخدام هذه اللغة(4) . لقد قام ميدوز وعدد من

زملائه(5) بدراسة وتطوير نموذج للعالم هو خلاصة تداخل العوامل الرئيسية المختلفة المؤثرة على زيادة عدد السكان مثل استهلاك المصادر الطبيعية للطاقة وتلوث البيئة والازدحام بالسكان والنقص في الغذاء .

يضم النموذج العلاقات بين خمسة متغيرات اساسية هي عدد السكان (P) Population والمصادر الطبيعية (AR) Natural Resources وراس المال المستخدم Capital Investnent (CI) والجزء من راس المال المستخدم في الزراعة CIAG وتلوث البيئة Polution (POL) لقد استخدم في المسالة عدد من الرموز المبينة في الشكل (1) . ويلاحظ ان اضافة حرف I في اخر الرمز يشير الى ان الرمز يعود الى القيمة الابتدائية واضافة N يشير الى ان يعود الى القيمة الاعتيادية والحرف T للاشارة الى الرجوع الى المنحنيات او الجداول المثلة لهـا .

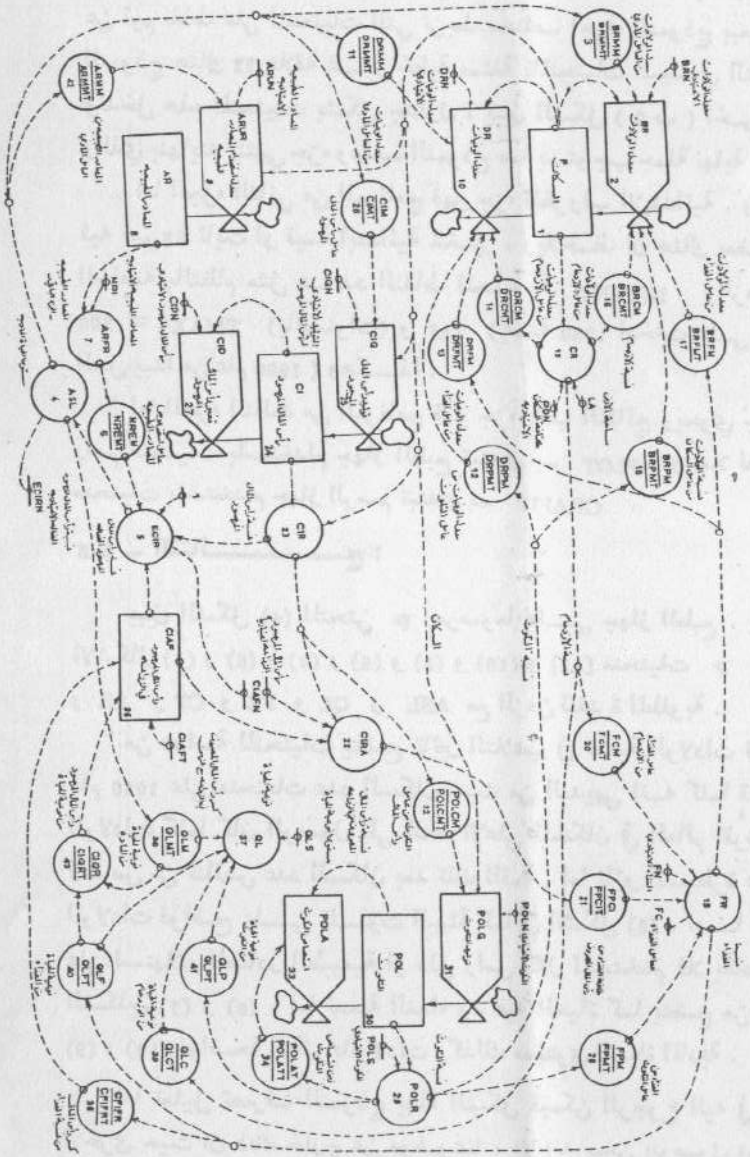
2.5 ـ الغرض من التمثيل :

ان الهدف الرئيسي من هذا المثال هو دراسة استجابة النموذج المتحرك للعالم لخمسة قيم مختلفة من نسبة الولادات الاعتيادية يجري ادخالها في النموذج اعتبارا من عام 1980 على ان يتم التمثيل للقرنين العشرين والحادي والعشرين .

3.5 ـ اسلوب التمثيل :

يبين الشكل (1) المخطط الانسيابي Flow chart للنموذج المتحرك للعالم.ويتضح فيه اعتماد المتغيرات بعضها على البعض.فالدوائر تمثل العوامل المؤثرة بين المتغيرات الرئيسة والمستطيلات تمثل المتغيرات الاساسية والتي هي المتغيرات المعتمدة في المعادلات التفاضلية بينما الاشكال الخماسية المنتهية بمثلثات مدببة (مثل معدل الولادات او معدل الوفيات) فتمثل معدلات التغير المرتبطة بالمتغيرات الاساسية .

من الدراسة الدقيقة للشكل(1) يتبين وجود خمس معادلات تفاضلية تتحكم في النموذج . يبين الشكل (2 آ) البرنامج المكتوب بلغة DARE-P وفيه يتضح وجود 16 معادلة جبرية اضافة للمعادلات التفاضلية الخمسة .



شكل رقم (1) المخطط الانسيابي لنموذج العالم المتحرك

لذا فان تمثيل النموذج يعتمد على حل المعادلات التي عددها 21 معادلة (جبرية او تفاضلية) وايجاد حلولها للفترة المطلوبة . كما يطلب تغيير قيم BR قبل وبعد عام 1980 .فقبل ذلك العام اعتبرت قيمة معدل الولادات BR هي القيمة الاعتيادية اما بعد ذلك العام فقد خفضت قيمة هذا المعدل على اربعة مراحل وابقيت على ماكانت عليه في الحالة الخامسة . في المرحلة الاولى اخذت BR علـــى ماهي عليه وفي الثانية 80٪ وفي الثالثة 60٪ وفي الرابعة 40 وفي الخامسة 20٪ مما كانت عليه قبل عام 1980 وقد حدد العامل U كعامل ضرب لـ BR باخذ 1.0 و 0.8 و 0.6 و 0.4 و 0.2 على التوالـــي .

4.5 ـ وصف البرنـــامج :

يحوى البرنامج ثلاثة اجزاء :

الجزء الاول هـــو جزء وصف النموذج يبتدى هـــذا الجزء بفقرة التفاضل المبينة في الشكل (2) . وهذه الفقرة تبتدى بـ D1 وتحوى حدى وعشرين معادلة بينها خمسة معادلات تفاضلية وستة عشـر معادلة جبرية . اما المعادلات التفاضلية فهي المبتدئة بـ .P و .CI و .POL و .AR و.CIAF يعقب المعادلات الاحدى والعشرين قطعة لايجاد قيمة U . تبتدىء هـــذه القطعة بعبارة PROCED يعقبها الرمز المطاوب ايجاد قيمته ، تعقبه اشارة مساواة المتغيرات هي الزمن T و TM الذي هو العام 1980 ومتغير اخـر BRR الذي تتغير قيمته تنازليا من 1.0 الـــى 0.2 بخطوات مقدارها 0.2 في فقـــرة المنطق .

ان الجمل داخـــل القطعة التي تحسب فيها U كلها بلغة فورتران وتنتهي بجملة ENDPRO .

تاي فقرة التفاضل فقرة المنطق وهي مكتوبة بلغة فورتران ايضا . وقد وضع فيها دارة نفذ DO LOOP لغرض اعادة الحل خمس مرات في كل حالة تعطي قيمة جديدة لـ BRR وهناك ثلاث جمل استدعاء احداها للعودة الى الظروف الابتدائية CALL RESET والاخرى للاحتفاظ بالنتائج CALL SAVE والثالثة لحل المعادلات للفترة المطلوبة CALL RUN اما الفقرة الثالثة

```
$D1
      P.=P*(BR+1.-DR)
      BR=BRN*BRFR(FR)*BRPH(ASL)*BRCH(CR)*BRPH(POLR)
      DR=DRN*DRFR(ASL)*DRPH(POLR)*DRFR(FR)*DRCH(CR)
      CI.=CIG-CI
      CIG=P*CIN(ASL)*CIGN
      CID=CI*CID
      POL.=POLG-POLA
      POLA=POL/POLAT(POLR)
      POLG=P*POLN*POLCH(CR)
      CIAF.=(CFI*R(FR)*CIOR(ALN(ASL)/QLF(FR))-CIAF)/CIAFT
      QL=QLS*QLH(ASL)*QLC(CR)*QLF(FR)*QLP          (PO      LR)
      ARUR=P*XNRUN*ARPH(ASL)
      AR.=-ARUR
      FR=FPCI(CIRA)*CHI(CR)*FPH(POLR)*FC/FN
      POLR=POL/POLS
      CIRA=CIR*CIAF/CIAFN
      ASL=ECIR/ECIRN
      ECIR=CIR*(1.0-IAF)*AREH(ARFR)/(1.0-CIAFN)
      CIR=CI/P
      CR=P/(AA*P.N)
      ARFR=AR/AR
      PROCED U=T,TH,BRR
      IF(T-TH) 16,16,17
16    U=1.0
      GO TO 18
17    U=BRR
18    CONTINUE
      ENDPRO
$L
      DO 10 I=1,5
      BRR=1.125-0.125*I
      CALL RESET
      CALL SAVE
      CALL RUN
10    CONTINUE
```

الشكل 4 الجزء الاساسي من البرنامج

```
                $T
                QLP ,7
                0.0,1.04
                10.,0.85
                20.,0.6
                30.0,0.3
                40.0,0.15
                50.,0.05
                60.0,0.02
                END
      CIRN=0.025 POL=3.4E9,POLI=0.2E9,POLN=1.0
      CIAFI=0.2, IAF=15.0,QLS=1.0,PI=1.05E9,P=PI
      TH=80.0
      FN=1.0
      BRN=0.04,ERN=1.0,ARI=900.E9,XNRUN=1.0,DRN=0.028
      AA=155.E6, DN=36.5,FC=1.0,CIAFN=0.3,CII=.4E9,CIGN=0.05
      AR=ARI,CI= II.POL=POLI,CIAF=CIAFI
       TMAX=200.
      NPOINT=51
END
      PLOT,P(1),P(2),P(3),P(4),P(5)
      PLOT,POL(1),POL(2),POL(3),POL(4),POL(5)
      PLOT,AR(1),AR(2),AR(3),AR(4),AR(5)
      PLOT,CI(1),CI(2),CI(3),CI(4),CI(5)
      PLOT,FR(1),FR(2),FR(3),FR(4),FR(5)
      PLOT,QL(1),QL(2),QL(3),QL(4),QL(5)
      PLOT,ASL(1),ASL(2),ASL(3),ASL(4),ASL(5)
      GRAPH,P(1),P(2),P(3),P(4),P(5)
      GRAPH,POL(1),POL(2),POL(3),POL(4),POL(5)
      GRAPH,AR(1),AR(2),AR(3),AR(4),AR(5)
      GRAPH,CI(1),CI(2),CI(3),CI(4),CI(5)
      GRAPH,FR(1),FR(2),FR(3),FR(4),FR(5)
      GRAPH,QL(1),QL(2),QL(3),QL(4),QL(5)
      GRAPH,ASL(1),ASL(2),ASL(3),ASL(4),ASL(5)
      END
```

الشكل 4 ب نهاية البرنامج

الواجب ادخالها في هذا النموذج فهي الجداول T وهذه الجداول هي عبارة عن قيم نقاط على المنحنيات التي تربط مختلف اجزاء النموذج ببعضها . ففي النموذج هناك 22 علاقة غـــير خطية ممثلة بالمنحنيات المبينة في الشكل (3) . وتدخل هذه المنحنيات بشكل جداول ، يبين الشكل (2 ب) اخـرها QLP والذي بنهايته ينتهي جزء وصف النموذج مما يستوجب جملة نهاية END

اما الجزء الثاني من البرنامج فهو جزء الظروف الابتدائية . وقد اعطيت فيه قيم 28 ثابت او قيمة ابتدائية لمتغـير . ويلاحـظ ان هناك بعض الثوابت الخاصة بالنظام مثل عـــدد النقاط المحسوبة NPOINT والزمـن الكلي TMAX = 200 (بالسنوات) و TM (سنة 1980 ادخلت علـى اعتبار ان الحل يبدا من عام 1900) وهكـــذا .

اما الجزء الثالث من البرنامج فهو جزء طلب النتائج ويحوي جملا لطلب رسم منحنيات باستخدام جهاز الطبع تبتدى بـ PLOT وجملا لطلب رسم منحنيات باستخدام جهاز الرسم تبتدى بـ GRAPH .

5.5 ـ النتائـــــــــج :

يبين الشكل (4) المنحني P مرسوما علـــى جهاز الطبع . بينما تبين الاشكال (5) و (6) و (7) و (8) و (9) و (10) و [11] منحنيات P و POL و AR و CT و FR و QL و ASL مع الزمن للفترة المطلوبة .

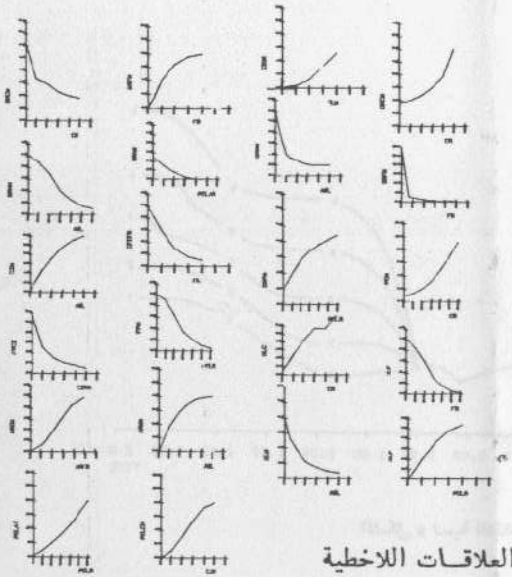
من دراسة المنحنيات يتضح تاثير التلاعب في نسبة الولادات فيما بعـد عام 1980 على منحنيات عدد السكان حيث من البديهي انـه كلما قلت نسبة الولادات كلما كان الوصول الى الحد الاعلى للسكان في العالم اقرب ولكـن لامناص من تناقص عدد السكان بعد تلك القمة . اما تاثير السيطرة علـى عدد الولادات فواضح علـــى تلـــوث البيئة كما في الشكل (6) . امـــا التاثـــير على استهلاك المصادر الطبيعية او على راس المال المستخدم فلا يكاد يظهر في الشكلين (7) و (8) . اما نسبة الغذاء ونوعية الحياة كما يتضح من الشكلين (9) و (10) فواضحة التاثر بالولادات وكذلك مستوى الحياة المادية .

اما تعايل تصرف النموذج بهذا الشكل فيمكن الرجوع اليه في المصادر الاخرى حيث ان ذلك خارج عن موضوعنا ، الا انه يمكن الوصول الى نتيجة

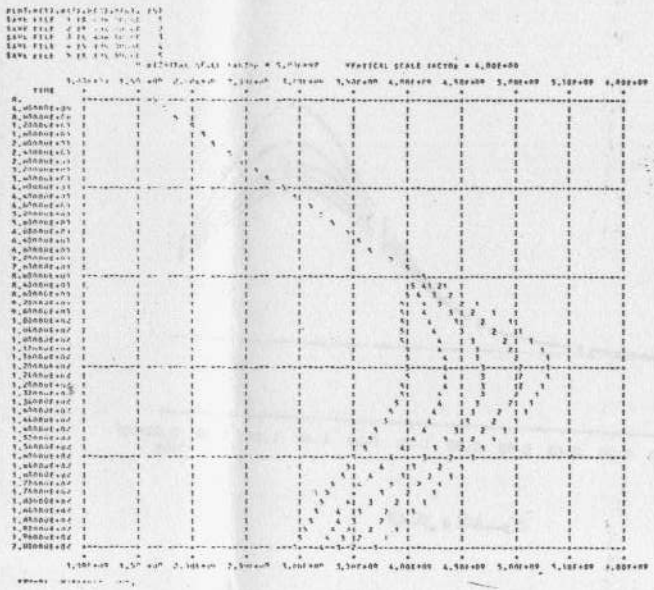
سريعه ان حل مشاكل العالم وانقاذه مـــن الانهيار لايمكن في تحديد النسل لوحده بل في قرارات واجراءات سياسية واقتصادية بالغة التعقيد .

6 ـ المناقشـــــــــــة

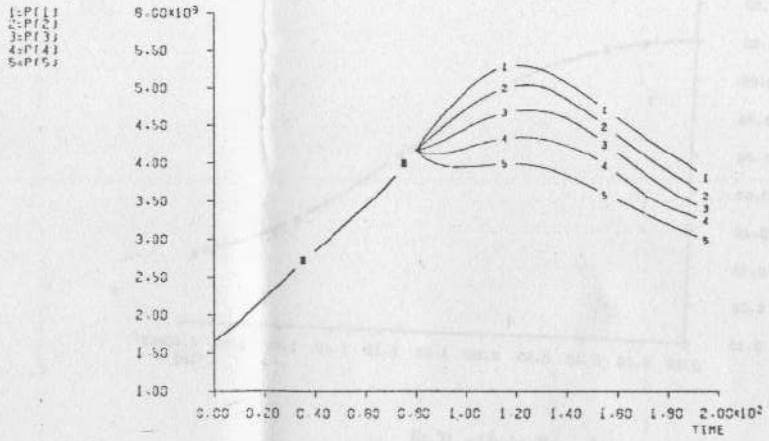
لقد تم عرض مقدمة عن لغات تمثيل الانظمة المستمرة علـــى الحاسـبة الرقمية . واعطيت تفاصيل احدى هذه اللغات لتوضيح بعض جوانب هـــذه اللغات وبالرغم من وجود لغات كثيرة مشهورة الان ، الا ان اللغة التي اخذت كنموذج DARE-P وهي احـــدى اللغات التي تتصف بكثير من محاســن اللغات . وقد تم ايضاح هـذه اللغة بمثال يتعلق بالتصرف الحركي لنموذج العالم للفترة مابين عامي 1900 2100 وقـد اوضح تأثير تحديد النسل علـــى النموذج وقد اختير هذا النموذج نظرا لتعدد متغيراته وتداخل معادلاته كثيرا واحتوائه على عدد مـن العلاقات اللاخطية . وقد اوضح هذا المثال سهولـــة برمجة لغات تمثيل الانظمة المستمرة وامكانيات تطبيقها على انظمة هندسية واقتصادية وديموغرافية وغيرها من الانظمـة .



شكل رقم (3) العلاقـات اللاخطية



شكل رقم (4) السكان على جهاز الطبع



الشكل 5 عـدد السكان

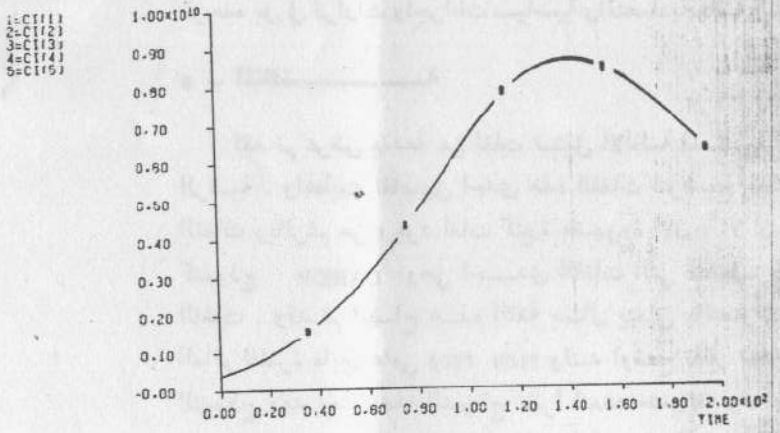
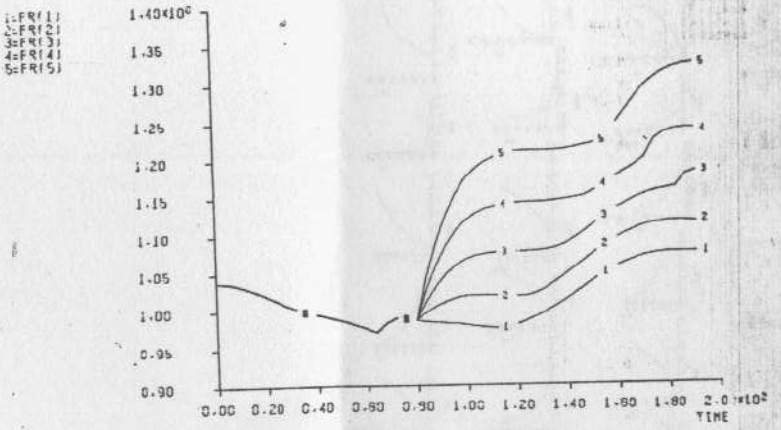
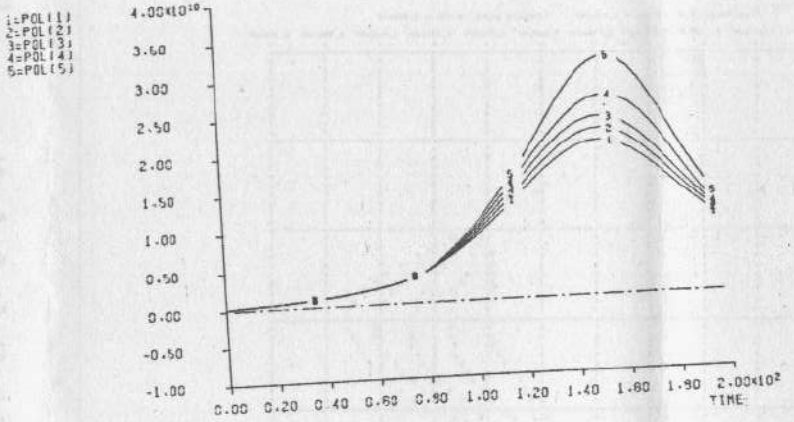


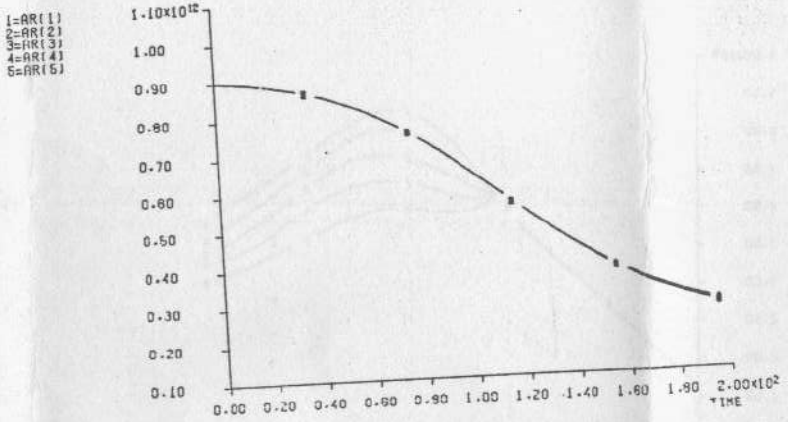
Figure 8 Capital Inve الشكل ٨ راس المال المرصود



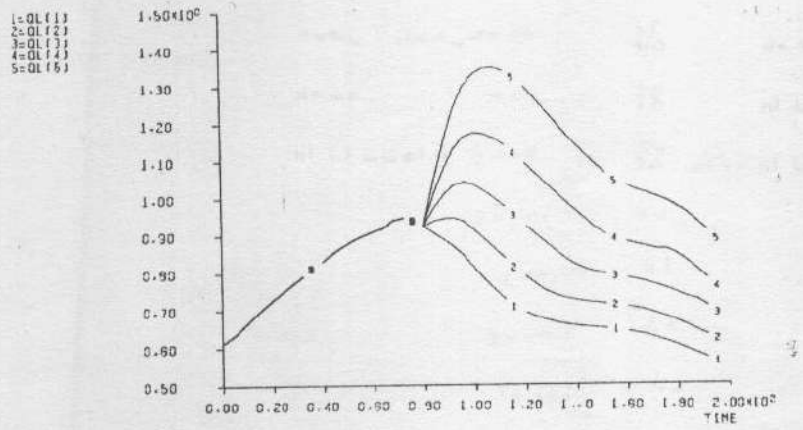
الشكل ٩ نسبة الغذاء



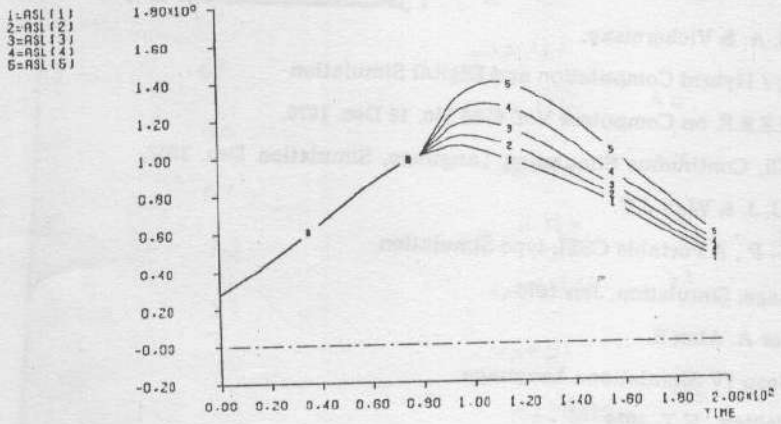
الشكل ٨ التلـــوث



الشكل ٧ المصادر الطبيعية



الشكل 10 نوعية الحياة



الشكل 11 مستوى الحياة المادية

٧ ـ المصـــــــــــادر :

1— Korn G. A. & Vicheretsky.
Analog / Hybrid Computation and Digital Simulation
Trans I.E.E.E. on Computers Vol. C-25 No. 12 Dec. 1976.

2— The SCI, Continuous Simulation Language, Simulation Dec. 1967.

3— Lucas J. J. & Wait J.V.
DARE—P , A Portable CSSL-type Simulation
Language, Simulation, Jan 1975

4— Pritsker A. Alen B.
The Gasp 1V Simulationn Language
John Witey , N.Y. 1974

5— Meadows & Meadows
Warld Dyhamines
Mc Graw Hill , 1973