المحاكاة:
الأداة الأكثر فاعلية في اتخاذ القرار الإداري
المفهوم , المبرر , النوع , المنهج , لغاتها و برامجياتها

د. سامي ذياب محل
جامعة تكريت – كلية الإدارة والاقتصاد

نصرت عبد الرحيم مداح
جامعة جيهان – قسم إدارة الأعمال

المقدمة:

تواجه الشركات الصناعية وغيرها مشاكل كثيرة ومتنوعة البعض منها، عبارة عن مشاكل قريبة نسبيا للعالم الحقيقي، إذ يمكن الحصول على حل معين لها واتخاذ قرار بصددها بواسطة استخدام بعض المعادلات العددية القياسية أو استخدام الحسابات الرياضية واستخراج النتائج المطلوبة .بينما يمثل بعضها الأخر مشاكل لا يمكن إيجاد أنموذج معين لها،إذ تكون المشكلة معقدة يتداخل فيها عددا كبيرا من المتغيرات التي يصعب التحكم فيها، مما يجعل حلها بالصيغ السابقة أمر غير اقتصادي أو حتى غير ممكن. لذا تكون المحاكاة (Simulation) الأسلوب الوحيد الذي يمكن استخدامه للحصول على إجابات ملائمة لمثل هذه المشاكل وبسرعة مناسبة وباستخدام الحاسوب .

إن الاستخدامات المبكرة لأسلوب المحاكاة تضمنت (في الغالب) التجريب مع النماذج الممثلة للحدث أو الظاهرة المدروسة . إذا استخدمت المحاكاة بصورة واسعة في الدراسات الهندسية والدراسات العلمية ، مقابل استخدامات قليلة من علماء الاجتماع والمدراء . وذلك بسبب صعوبة تمثيل المشاكل الاجتماعية والإدارية والاقتصادية بواسطة النماذج المادية. ومع مرور الوقت ، فأن استخدام الحواسيب الرقمية قد نتج منه قبول واسع للمحاكاة في كل من العمل الهندسي / العلمي وفي تحليل المشاكل الإدارية والاقتصادية المختلفة (Meier and,169 Others,) . إذيستند النجاح الحالي للمحاكاة في نمذجة الأنظمة المعقدة جدا على الفوائد المؤثرة المتمثلة في القدرات التي توفرها الحواسيب الرقمية . إذ من غير الممكن أن نتصور وصول المحاكاة لأي مستوى من النجاح من دون استخدام تلك الحواسيب وذلك بسبب تطلب المحاكاة لوقت طويل يستنفذ في انجاز العمليات الحسابية عند التفكير بتنفيذ تلك العمليات يـــــــدويا (Taha , 2010 , 95).وفي السنوات الأخيرة ، تزايد الاهتمام في استخدام المحاكاة لبناء أنظمة التصنيع الحديثة ، هذا الاهتمام المتجدد كان نتيجة رغبة إدارة الشركة في تحسين ميزتها التنافـــــــــسية (Competitive advantage) في الأسواق المحلية والدولية على حد سواء . إذنظرت الإدارة ، وعلى نحو محدد في طرائق زيادة

الإنتاجية وتحسين النوعية وتخفيض التكاليف في آن واحد، إذا صبحت المحاكاة راسخة على إنها أداة مساعدة في اتخاذ القرار في المجالات شتى.
إن الملاحظ على البحوث المتخصصة في مجال الإدارة والاقتصاد بصورة خاصة والبحوث في المجالات الإنسانية على وجه العموم محدودية استفادتها من مدخل وأسلوب المحاكاة بواسطة الحاسوب في دراسة وتحليل المشاكل في المواضيع المتنوعة لتلك المجالات،على الرغم من الأهمية البالغة لاستخدامه في قضايا يعد التجريب مع العالم الحقيقي فيها مسألة مستحيلة قبل إن تكون قضية مكلفة جدا .
إن ما ورد أعلاه يتزامن مع ابتعاد العديد من المصادر المحلية أو العربية ذات الصلة عن تناول موضوع المحاكاة وتغطيته والتعريف بمضامينه ، في حين يجري تناوله في البعض الأخر بشكل بسيط جداً.
عليه، جاء هذا البحث ليمثل جهدا متواضعا يفتح المجال أمام البحوث والدراسات اللاحقة، وتحديداً تلك المعنية بالإدارة ، لتركيز الاهتمام والاستفادة من استخدام المحاكاة بواسطة الحاسوب في دراسة وتحليل المشاكل التي قد تتصدى لها. وذلك من خلال ما يقدمه البحث من وصف نظري عن المفاهيم الأساسية للمحاكاة وتقديم خلاصة مستوفية بأهم الاستنتاجات على هذا المستوى.
ولأجل تحقيق الغاية المنشودة من هذا البحث فقد جرى تغطية الجوانب المستهدفة من خلال تناول الفقرات الآتية:
1. مفهوم المحاكاة ومبررات الاستخدام.
2. أنواع المحاكاة .
3. منهجية المحاكاة.
4. برامجيات ولغات المحاكاة.
5. الاستنتاجات.

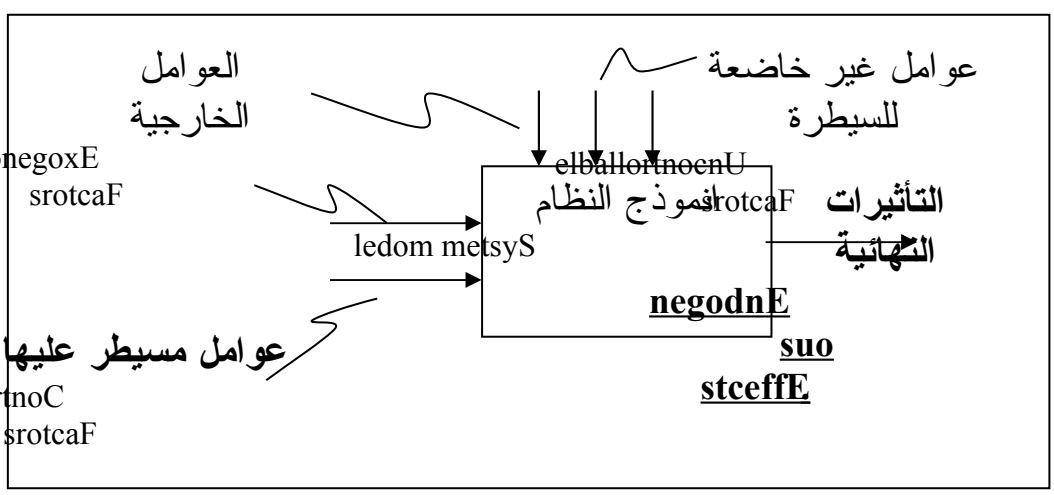
1. مفهوم المحاكاة ومبررات الاستخدام :

1.1 مفهوم المحاكاة :للمحاكاة مفاهيم أو تعاريف عديدة ، غير إنها تؤدي إلى هدف واحد ، إذ يمكن استعراض التعاريف الآتية للمحاكاة :
1 . " هي أسلوب رياضي لمعالجة المعضلات وتنفيذها بواسطة الحاسب الالكتروني والتي تتداخل فيها أنواعا معينة من العلاقات الرياضية والمنطقية الضرورية لوصف سلوك وهيئة نظام لعالم حقيقي معقد ولفترات زمنية طويلة " (جزاع 636 , 88 ,) .
2 ."هي نشاط لإعادة إنتاج سلوك نظام معين باستخدام أنموذج معين يصف عمليات النظام . فحالما يطور الأنموذج ، فأن المحلل يستطيع معالجة متغيرات محددة لقياس تأثيرات التغييرات على الخصائص التشغيلية المرغوبة " (Krajewski and Ritzman , 2005 ,347).

3 . ويرى (Dilworth , 96 , 684) بان المحاكاة هي أكثر من مجرد أسلوب منفرد وذلك بسبب النماذج والأساليب المتنوعة والواسعة التي يمكن أن تستخدم في دراستها . إنها طريقة أو مدخل لحل المشاكل . لذلك فهو يعرف المحاكاة على إنها " عملية تجريب وفق انموذج معين لنظام أو موقف حقيقي إلى حد ما لأجل فهم أو حل مشكلة ما في العالم الحقيقي " . بمعنى أخر ، إنها أداة أو وسيلة للحصول على تجريب اصطناعي من خلال استخدام انموذج يعبر عن مظهر أو تأثير الواقع .

4 . ويورد (Carrie , 89 , 1-16) التعريف الأتي وفقا لقاموس اوكسفورد الانكليزي : المحاكاة هي الأسلوب الذي يقلد السلوك لموقف معين أو نظام معين (اقتصادي ، عسكري ، وميكانيكي ... الخ) بواسطة موقف مماثل (قياسي) انموذج أو جهاز ، أما للحصول على معلومات أكثر ملائمة أو لتدريب الأفراد . في حين يعرفها في مكان أخر بأنها : الأسلوب لبناء انموذج تجريدي منطقي لنظام معين والذي يعطي وصفا للسلوك الداخلي لمكونات النظام وتفاعلاتها ، متضمنا إمكانية التغيير التصادفي (Stochastic)، لغرض التنبؤ بذلك السلوك والحصول على معلومات أكثرأو لتدريب الأفراد .

5 . ويعرفها (Mellichamp , 2009 , 78) بأنها :الإجراء الذي فيه تؤدى التجارب على انموذج النظام لغرض تحديد استجابات النظام للتغيرات أما في هيكله أو في بيئته . إذ يرى (Melichamp) بان هذا المفهوم يمكن إيضاحه بالتمثيل البياني الموضح في الشكل (1) .



Source: Mellichamp,J.M. , Simulation Models Are Aflexible,Efficient Aid To Productivity Improvement Effort , Industrial Engineering, August , 2009,P.79 .

6. كما تعرف المحاكاة بأنها " استخدام انموذج ما في تمثيل السمات الحيوية المهمة للنظام أو العملية قيد الدراسة لفترات زمنية طويلة . أو هي تمثيل سلوك النظام أو العملية على مدى الوقت من خلال إعطاء القيم للشروط الأولية ،

المعالم ، والمتغيرات الخارجية وإدخالها ضمن الانموذج العددي الذي يمثل هيكل العملية الديناميكية "(Meier and Others ,69, 2) .

7. وبينما يبتعد فاتر وزملاؤه(Vatter and Others , 78 ,2) عن تقديم تعريف محدد للمحاكاة , فأنهم يرون إمكانية وصفها وفقا لمضامين الخطوات الآتية:

- صياغة الانموذج للعملية أو المشكلة قيد الدراسة .
- تصميم مجموعة من التجارب لتنفذ باستخدام الانموذج بهدف اختيار الإستراتيجيات والإجابة عن أسئلة (ماذا لو What If؟) .
- تنفيذ تلك التجارب وتسجيل سلوك الانموذج تحت الشروط التجريبية .
- تحليل نتائج التجارب ، وصنع الأحكام عن كيفية سلوك الموقف الحقيقي ، وصياغة خطة للنشاط .

8. "أنها أسلوب يمكن بواسطته تقليد / محاكاة عمليات نظام واقعي خلال فترة زمنية معينة"(الكبيسي 203 , 99,) .

9. "هي عملية تمثيل الموقف المعطى بواسطة استخدام مجموعة من العلاقات الرياضية والمنطقية التي توحد في برنامج الحاسوب , ومن ثم دراسة الموقف تحت شروط مختلفة من خلال مشاهدة سلوك الانموذج الممثل على الحاسوب " (Pidd , 2010 , 6) .

10. " هي عملية تصميم انموذج للعالم الحقيقي وتنفيذ التجارب وفق هذا الانموذج لغرض فهم سلوك النظام أو لتقييم مختلف الإستراتيجيات (ضمن محددات أو اشتراطات معيار معين أو مجموعة من المعايير) لتشغيل النظام" (Smith , 2004 , 1) .

11. "هي نشاط يمكن من خلاله تحديد الاستنتاجات حول سلوك النظام المعطى بواسطة دراسة سلوك انموذج مناظر يحوي علاقات مشابهة للعلاقات الموجودة في النظام الأصلي " pidd , 2004, 20)).

ويرى الباحثان بان المحاكاة هي مدخل أو أسلوب لحل المشاكل المعقدة ، يعتمد بالدرجة الأساس على تصميم انموذج مناظر للنظام الحقيقي أو لجزء من عملياته ، ينفذ على الحاسوب لمدد زمنية محددة ، باستخدام مجموعة من العلاقات الرياضية والمنطقية بهدف تحديد سلوك النظام ضمن شروط ومعايير مختلفة لتشغيله . وبما يساعد على توفير قاعدة واسعة من المعلومات ، تتمثل بمخرجات التجريب مع انموذج النظام ، تسهل عملية اتخاذ القرار بشان المشكلة المدروسة .

2.1 مبررات استخدام المحاكـــــاة:

مع التطور السريع في توفير البرامج الجاهزة والأساليب التكتيكية ، اتسع استخدام أساليب المحاكاة ليشمل مجالات شتى، إذ نجد تطبيقات المحاكاة في الزراعة ، التعليم ، الرياضة ، الهندســـة ، البحوث العلمية ، العلوم الاجتماعية ، ووظائف الأعمال فضلاً عن إدارة العمليات . ويمكن النظر في الأسباب أو

المبررات التي ساعدت في استخدام أساليب المحاكاة بهذه الصورة الواسعة من خلال التركيز على جملة الفوائد التي تحققها عند التطبيق.

أن محاولة حصر مبررات استخدام المحاكاة وفوائد تطبيقها تدفع إلى استعراض ما يقدمه الكتاب والباحثون في هذا الخصوص . فمن جهة نجد (685–684 ,Dilworth,96) يستعرض النقاط الآتية كمبررات لاستخدام المحاكاة وعلى وفق مايأتي:

1. المحاكاة يمكن أن تستخدم لمواجهة المشاكل التي يصعب معالجتها وإيجاد الحلول المناسبة لها بطريقة رياضية . كما إن الحلول التحليلية لبعض القضايا قد لا تكون ممكنة الانجاز ، أوان النماذج التحليلية للنظام قد لا تكون متوافرة أوانها معقدة جدا وتعيق الوصول للحل الأمثل.
2. المحاكاة يمكن أن تكون أداة نافعة أو قيمة للتدريب تساعد في الحصول على فهم لأداء النظام.
3. إنها تجعل من الممكن دراسة النظام ضمن شروط واعتبارات مسيطر عليها .اذ يمكن اختيار المتغيرات لتكون متغيرة ولمدى محدد وضمن مختلف الاعتبارات البيئية التي قد لأتحدث في البيئة الحقيقية ضمن الوقت المعقول وبذلك يجري تحديد الحالات والظروف المتوقع حدوثها مستقبلا وبالشكل الذي يزيد من قدرة الشركة على التعامل معها .
4. المحاكاة قد تكون اقل كلفة وتتضمن أيضا مخاطرة اقل للأفراد والأعمال مقارنة بالتجارب الفعلية.
5. كما إنها تحقق مرونة كبيرة في استخدام الوقت وبما يوفر رؤيا أكثر تفصيلا للأحداث المحددة .إذ يمكن محاكاة البيانات لسنوات عديدة ، فضلاً عن مقارنة تأثير البدائل من دون تأخير ، وتجاوز حالة التحريف التي يمكن أن تحدث بسبب الاعتماد على ذاكرة الأفراد ، لفترات طويلة ماضية ، لأجل تحديد ماهية النتائج لمجموعة مهمة من الحالات.

بينما يبرر (,2000Law and Kelton, 115) اللجوء إلى استخدام المحاكاة بالنقاط الآتية:

1. المحاكاة هي البديل المتاح لدراسة معظم الأنظمة المعقدة التي تحتوي في الواقع على عناصر تصادفيه يصعب وصفها بصورة دقيقة بواسطة النماذج الرياضية التحليلية .
2. إنها تسمح لتقدير أداء النظام الحالي ضمن شروط تشغيل محددة .
3. إمكانية مقارنة تصاميم بديلة مقترحة (أو سياسات تشغيل بديلة للنظام) لاختيار البديل الملائم لمقابلة المتطلبات المحددة .
4. المحافظة على سيطرة أفضل لجميع الشروط التجريبية مقارنة بالسيطرة التي يمكن توفيرها عند التجريب مع النظام نفسه .
5. إنها تسمح بدراسة النظام ضمن إطار زمني طويل .

ويرى كل من (Russell and Taylor,630,2008) بان سبب شيوع استخدام المحاكاة على إنها مدخل للنمذجة يتمثل باستعمالها بصورة متكررة عند عدم صلاحية الطرائق الكمية الأخرى للتطبيق .إذ إن المحاكاة هي الأسلوب أو البديل لحل الكثير من المشاكل وتوفير المعلومات اللازمة لاتخاذ القرار .إذ إن تعقيد المشكلة يقود نحو إضعاف الفرصة لإمكانية معالجتها باستخدام الطرائق المختلفة لبحوث العمليات.كما إن اللجوء إلى التجربة العملية لا يكون ممكنا بصورة دائمة إلى جانب تكاليف باهظة جدا.الأمر الذي يدفع باتجاه استخدام المحاكاة (33Pidd, 2010 ,). إن نظرية المحاكاة هي نظرية واضحة وطرائقها أسهل في التطبيق من الطرائق التحليلية التي تحتاج إلى وضع فرضيات متعددة. كما إن نماذج المحاكاة لها القليل من القيود وتسمح بمرونة اكبر في تقييم النظام الحقيقي(الكبيسي ,99 ,204). إذ تسمح المحاكاة بتحليل قدرات النظام ، طاقاته ، وسلوكه من دون الحاجة إلى بناء فعلي للنظام والتجريب معه. كما إن بعض الأنظمة ، مثل التفاعلات غير الواضحة والحروب ، يصعب تحليلها بعيدا عن استخدام المحاكاة (Smith2,99 ,).

وعلاوة على ما سبق ، فأن (Krajewski and Ritzman, 2005 , 347– 348)يقدمان مجموعة أخرى من أسباب استخدام أساليب المحاكاة لتبرير اعتماد تلك الأساليب في تحليل مشاكل أدارة العمليات ، وعلى وفق مايأتي:

1. المحاكاة ذات فائدة عندما تكون نماذج صفوف الانتظار معقدة جدا .
2. عندما تكون العلاقات بين المتغيرات علاقات غير خطية أو عندما تكون المتغيرات و/أو القيود والمحددات المستخدمة في معالجة مداخل الامثليه عديدة ، ففي هذه الحالات يمكن استخدام نماذج المحاكاة لتقدير الخصائص التشغيلية أو قيم دالة الهدف ومن ثم تحليل المشكلة .
3. نماذج المحاكاة يمكن استخدامها لإدارة التجارب من دون الإضرار بالنظم الحقيقية أو تعطيلها ، إذتكون التجربة مع النظام الحقيقي مكلفة جدا . فعلى سبيل المثال ، انموذج المحاكاة يمكن استخدامه لتقدير المنافع لشراء ونصب نظام جديد للتصنيع المرن من دون أن يتم النصب الفعلي لمثل هذا النظام. كذلك يمكن استخدام الانموذج لتقييم أشكال او عمليات مختلفة لقواعد القرار من دون تعطيل جداول الإنتاج .
4. كما أن تلك النماذج يمكن أن تستخدم للحصول على تقديرات خصائص التشغيل أو العمليات التشغيلية في وقت قصير جدا مقارنة بالوقت المطلوب للحصول على البيانات نفسها في النظام الحقيقي وتدعى هذه الخاصية في المحاكاة بخاصية ضغط أو اختزال الوقت (Time Compression).فعلى سبيل المثال ، إن انموذج محاكاة للعمليات التشغيلية لمطار يمكن أن يولد إحصاءات عن وصول الطائرات، تأخيرات الهبوط ، وتأخيرات انجاز التأشيرات (Terminal Delays) ...الخ لسنة كاملة في مسألة دقائق على الحاسوب. وبذلك يمكن تحليل بدائل تصاميم المطار واتخاذ القرار بشأنها بسرعة مذهلة .
5. المحاكاة مقيدة في زيادة حدة المهارات الإدارية في اتخاذ القرارات .

ويرى الباحثان إن ما قدمه كل من (Krajewski and Ritzman) من أسباب أو مبررات لاستخدام أساليب المحاكاة تمثل نقاط عامة قد تكون كافية لتبرير ذلك

الاستخدام ليس في تحليل مشاكل إدارة العمليات فحسب ، وإنما في معالجة المشاكل للمجالات المختلفة الأخرى التي تطبق فيها المحاكاة .

وعلى الرغم من اتفاق (Meire and Others , 69 ,21 – 22) مع وجهات النظر السابقة ، في نقاط محددة لتبرير اللجوء لأساليب المحاكاة ، فقد أضافوا في الوقت نفسه مبررات أخرى وعلى وفق مايأتي:

1. أن التجريب بواسطة وسائل المحاكاة باستخدام الحاسوب يمكن أن يتغلب على بعض قيود ومحددات استخدام الأشكال الأخرى من التحليل .

2. المحاكاة تقدم فرصة فريدة لملاحظة السلوك الديناميكي للأنظمة المعقدة المتفاعلة. إذ تتيح المحاكاة الإمكانية للتعامل مع ديناميكية العملية المعقدة جدا والممثلة بواسطة أكثر النماذج الرياضية صلابة مثل البرمجة الخطية ونماذج القيم الدنيا والعليا .

3. المحاكاة توافر بيئة تجريبية لاختبار الفرضيات، وقواعد القرار، والأنظمة المتبادلة للعمليات تحت مختلف الشروط المفترضة. كما إنها يمكن أن تستخدم عندما لا تكون هنالك طرائق تحليلية عملية أو عندما يكون تنفيذ التجربة في النظام الفعلي قيد الدراسة مكلفا جدا أو مستحيلا. فالمحاكاة تجعل من الممكن التجريب للتحقق من مصداقية التنبؤات النظرية للسلوك بعيدا عن مخاطر التجريب مع النظام الحقيقي.

4. أن لها خصائص فريدة مؤكدة قد تبرر استخدامها بدلا من الطرائق الأخرى، وتلك هي:

4 – 1 إتاحة الفرصة للبدء بالسلوك الديناميكي للعمليات وإكماله.

4 – 2 إمكانية تقليل وتوسيع الوقت في دورة المحاكاة لتوفير مشاهدات تفصيلة أكثر.

4 – 3 أن كل دورة لأنموذج المحاكاة ينظر إليها على إنها تجربة يجري من خلالها الحصول على مشاهدات لمختلف خصائص النظام .

4 – 4 أنها توافر صورة إجمالية لخصائص النظام وبما يميزها عن الإجراءات الرياضية التي تعطي فقط إجابات منفردة ثابتة.

5. يمكن للمحاكاة أن تؤدي دورا مهما في التدريب والتطوير لسياسات وإجراءات التشغيل الفعلية. إذ يمكن استخدام النماذج وسائل تدريبية من خلال القيام بتشغيل الأنظمة تحت مختلف الشروط وتوفير المشاهدة لنتائج المحاكاة .

وأخيرا ، يمكن أن نشير إلى إن (جزاع ,88 , 637 –638) يعتمد على ما قدمه (Naylor 1971) من مبررات لاستخدام أساليب ونماذج المحاكاة .إذ يستعرض عددا من النقاط والتي يتفق فيها مع ما سبق ذكره من مبررات فيما عدا النقاط الأربع الآتية :

1. يستخدم أسلوب المحاكاة في تنفيذ طريقة مونتِ كارلو (Monte Carlo) لتحقيق الحلول التحليلية.

2. يكون تتابع الوقائع لمشكلات تصادقيه ذا أهمية خاصة إذ تكون المعلومات المتيسرة عن العزوم الإحصائية غير كافية لوصف الوقائع وبذلك يكون أسلوب المحاكاة هو الأسلوب الوحيد للحصول على المعلومات المطلوبة .
3. تساعد المحاكاة في دراسة الأنظمة الحركية لكل من الزمن الحقيقي ، الزمن المصغر، والزمن الكبير.
4. تستخدم المحاكاة في معرفة نتائج النظام عند وقوع تغيرات جديدة فيه.

ويرى الباحثان إن الأسباب أو المبررات التي تقف وراء استخدام المحاكاة وسعة انتشارها يمكن أن تحدد في النقاط الآتية:

1. طبيعة المشاكل المراد إيجاد حل لها.إذ تكون المحاكاة الأسلوب الوحيد لمعالجة المشاكل المعقدة جدا والتي تعجز الطرائق الأخرى في معالجتها بشكل اقتصادي.
2. الكلفة وتفادي التجريب مع النظام الحقيقي .
3. دورها المتميز في تدعيم الميزة التنافسية للشركة من خلال :

3-1 دورها في تحسين الجوانب التدريبية والتطويرية للأفراد أو لطرائق وإجراءات التشغيل على حد سواء .

3-2 المساعدة في اتخاذ قرارات صائبة تنسجم مع أهداف الشركة في زيادة الإنتاجية وتحسين النوعية وتخفيض التكاليف .

3-3 قدرتها على التنبؤ بالأحداث المستقبلية من خلال ما تتيحه من مرونة في استخدام الوقت وبما يسهل على الشركة مهمة استباق الأحداث وتحقيق المكاسب في الأسواق التي تعمل فيها.

4.التطور الهائل في مجال الحاسوب والانتشار الواسع لبرامج المحاكاة الجاهزة وبالعديد من لغات البرمجة .

وعلى الرغم من كون المحاكاة يمكن أن تستخدم (في الغالب) لدراسة أي مشكلة ، إلا إن مسؤوليتها تتحدد على وفق شروط محددة .إذ إنها تتطلب بان يكون الأنموذج الذي يجري بناءه ، لتمثيل سلوك النظام، قادرا على تحديد العلاقات بين المتغيرات في صيغ رياضية ومنطقية. وان هذا الأنموذج يجب أن يمثل بشكل صحيح التأثيرات الأولية المرتبطة بالمشكلة قيد الدراسة.إن انموذج المحاكاة هو صياغة مجموعة من الافتراضات عن كيفية سلوك النظام الحقيقي (Smith,3,2004Pidd, 99 , 2-3 ,).ولكي يكون الأنموذج قابلا للتشغيل فأنه يجب أن يمثل النظام بصورة كافية من خلال ما يعتمده من افتراضات. إذ أن استخدام القرارات المعتمدة على افتراضات ناقضة أو ذات أخطاء يمثل مخاطرة واضحة ، فنماذج المحاكاة يمكن أن تخفي العديد من الافتراضات المهمة والحاسمة . لذا فأنه من المفضل تمكين الأفراد الذين يتعايشون مع النظام الحقيقي من تقييم مصداقية الأنموذج وبما يؤدي إلى ملائمة الافتراضات مع منطق الأنموذج (Dilworth , 96 , 685) .إذ إن العامل الأكثر أهمية لأداء المحاكاة بصورة ناجحة في مجال مشكلة محددة هو المعرفة في مجال تلك المشكلة . وهكذا فأن أكثر الأفراد ملائمة لتطوير دراسة المحاكاة هو الفرد الذي يتعايش مع النظام المراد دراسته.إن المحاكاة لا تعني الامثلية، إنها فقط تبين نتائج الأنموذج عند التجريب للبدائل المحددة ضمن مجموعة خاصة من الافتراضات. عليه فأن دراسة المحاكاة لا يمكن أن تضمن إيجاد الحل الأمثل. كما إن الخطورة في استخدام أساليب المحاكاة تكون موجودة حتى مع توافرا نموذج صحيح وفعال، ذلك أن الباحث قد لا يجرب البدائل التي بالإمكان أن توافر المنفعة الأكبر. أضف إلى ذلك إن دراسة المحاكاة قد تكون باهظة الثمن، وأن التطوير والتحليل لتلك الدراسة قد يتطلب حقلاً واسعاً للبحث والذي يحتاج إلى وقت طويل وكلفة عالية (الكبيسي and, 2000,115 ,Law and Kelton ,96,685 ,Dilworth ,204,99) .

2- أنواع المحاكاة :

2-1 المحاكاة المتقطعة (Discrete Simulation) :

تستعمل المحاكاة المتقطعة عندما يهيمن تغيير متقطع على حالة النظام الذي يجري نمذجته ، إذ يمكن أن تكون مكونات النظام في أي عدد من الحالات المتقطعة ، عند أي نقطة من الزمن ، وتتغير من حالة إلى أخرى في الوقت نفسه (Carrie ,89,19).فالماكنة ، على سبيل المثال ، يمكن أن تكون إما عاطلة (Idle) أو مشغولة (Busy) ، وإنها تتغير من حالة إلى أخرى ،في الوقت نفسه ، عندما تبدأ بتنفيذ عمل معين. إذ تبقى في حالة العمل حتى تكمل العملية ، وعند ذلك تعود الماكنة إلى الحالة العاطلة للمرة الثانية. وهكذا، ففي المحاكاة المتقطعة فأن النظام المحاكي يعمل فقط عند نقاط مختارة من الوقت. وأن المثال الانموذجي لهذا النوع من المحاكاة هو نظام صف الانتظار (

(SystemQueuing

إذ ينضم الزبون إلى صف الانتظار أو يدخل للخدمة ومن ثم يغادر بعد إكمال خدمته (Taha ,2010,69) .

لقد أصبحت الإدارة أكثر تقبلا للمحاكاة المتقطعة كونها أداة لتحسين الميزة التنافسية للشركة ، زيادة الإنتاجية ، تحسين النوعية ، وتخفيض التكاليف . إذ تسمح المحاكاة المتقطعة بتقييم بدائل أنظمة التصنيع،وإحداث التغيرات في مزيج المنتج ، والسيطرة على الإستراتيجيات ، قبل الدخول في تحمل تكاليف تغيير النظام وما قد يتطلبه من تسهيلات (pidd,2004 ,32) . أن السبب الرئيسي الذي جعل المحاكاة المتقطعة مفيدة في علم الإدارة هو إمكانية تكيفها بصورة قريبة جدا من أجل الانسجام مع النظام المراد محاكاته ، وبشكل يحقق التوافق بين الافتراضات الرياضية للأنموذج المعد للدارسة وبين مفردات النظام الحقيقي (Pidd ,89,2) .أن الهدف الأساسي للمحاكاة المتقطعة (وكذا الحال بالنسبة للأنواع الأخرى من المحاكاة) هو الحصول على إحصاءات وثيقة الصلة بالموضوع قيد الدراسة والتي يمكن أن تستخدم في وصف سلوك الأنظمة المحاكاة . إذ يمثل الأسلوب الذي يتم من خلاله الحصول على تلك الإحصاءات العامل الأساسي الذي يحدد ماهية نظام المحاكاة . فيما يخص الأنظمة المتقطعة فأن الإحصاءات للحالة أو الموقف يمكن أن تتغير فقط عند وقوع الأحداث المباشرة ، إذ يكون النظام عند أي وقت أخر في حالة توقف تام ولا حاجة لمراقبته (89Taha, 695 ,).

فمثلا ، في أنموذج صف الانتظار المفرد ، الإحصاءات مثل طول الصف أو طول وقت الانتظار يمكن أن تتغير فقط عند وصول زبون جديد للخدمة أو عند أكمال خدمة زبون قديم. وفي هذه الحالة ، نحتاج إلى ملاحظة النظام فقط عند وقوع تلك الأحداث عليه ، فعند افتراض تغير الحالة في النظام في صورة غير مستمرة وعند نقاط من الوقت قابلة للتحديد فأن أنموذج المحاكاة يدعى بأنموذج المحاكاة المتقطعة

(Martinich ,97, 482).

وللمحاكاة المتقطعة عنصران أساسيان هما : القواعـــــد التي تحدد وقت وقوع الحدث اللاحق، وقواعد تغير حالة الأنموذج عند تحقق الحدث. ومن أجل تطبيق هذه القواعد ينبغي التدوين الدقيق لحالة الأعمال والمكائن (وأي مادة أخرى) بشكل مستقل وخلال جميع أجزاء وقت تشغيل الأنموذج .إذ ينظر إلى الكثير من الأحداث، في النمذجة المتقطعة على إنها تحدث في الوقت نفسه ، وان اتخذت في الواقع مدة زمنية قصيرة ، إذ تكون المدة المشتركة فيما يخص مقياس الزمن العام للأنموذج صغيرة نسبيا (Carrie 89, 19,) . فمثلا تحميل وتفريغ عمل معين في ماكنة قد يستغرق ثواني قليلة وربما دقائق. غير إن الأنموذج من

المحتمل أن يعد إن التحميل قد نفذ في اللحظة التي فيها يبدأ التحميل ، وان التفريغ جرى القيام به في اللحظة التي انتهى فيها التفريغ في الواقع .
لقد طورت أربع مداخل للمحاكاة المتقطعة ، لكل منها فوائد محددة في تسهيل بناء وتنفيذ النماذج المتقطعة ، وتلك هي :

1. مدخل جدولة الأحداث (Events scheduling approach) .
2. مدخل فحص النشاط (Activity scanning approach) .
3. مدخل تفاعل العملية (Process interaction approach) .
4. مدخل المراحل الثلاث (Three – phase approach) .

أن اختيار الحدث اللاحق للتشغيل ، وفقا لأي مدخل من المداخل المذكورة آنفا يعني تنفيذ الصيغ المفيدة (Rotines) للنمذجة المتناظرة (Corresponding modeling routin) لنمذجة التغيرات الملائمة في حالة الأنموذج. وتتمثل المسالة الأساسية لهذه المداخل بمفاهيم الأحداث المشروطة (Conditional Events) والأحداث غير المشروطة (Unconditional Events) . حيث تعتمد الأحداث غير المشروطة كليا على الوقت ، إذ تكون ملائمة للتنفيذ عندما يحين الوقت المجدول لتنفيذها . بينما الأحداث المشروطة يمكن أن تعتمد على شروط إضافية أخرى غير الوقت والتي تتضمن في الغالب ، قيم عامل وصف الحالة للعناصر المكونة للنظام (مثل المرفق الإنتاجي مشغول) (Pidd,2010, 153) وفيما يأتي شرح للفكرة الأساسية لعمل مداخل المحاكاة المتقطعة كل على حدة مع بيان النقاط التي تميز كل منها عنا لأخر ، وعلى وفق مايأتي:

1. **<u>مدخل جدولة الأحداث (Events scheduling approach)</u>:**

يضم هذا المدخل تتابع الأحداث غير المشروطة على مدى الوقت ، وعندما ينفذ فان إجراء السيطرة على الوقت يختار من قائمة الأحداث الحدث الذي له وقت حدوث مبكر ومن ثم تجديد ساعة المحاكاة إلى الوقت الذي يقع فيه ذلك الحدث ، وتنفيذ جميع أنشطته. إذ يجري بعد ذلك اختيار الحدث الذي يمثل الترتيب اللاحق ، في ضوء الترتيب الحالي للأحداث ، كي يجري تنفيذ الأنشطة الخاصة به .
وهكذا يجري اختيار الأحداث وتشغيلها بصورة متتابعة وصولا إلى وقت الانتهاء والذي يغطي المدة المفضلة للمحاكاة (Taha,2010, 698).إن الفكرة الرئيسة لهذا المدخل هي الدفع إلى الأمام لمقياس الوقت لغرض مقابلة جميع الأحداث، إذ يجري القيام بالأنشطة المناسبة بالاعتماد على نوع الحدث. وان تلك الأنشطة يجب أن تغطي جميع الإمكانيات التي قد تصاحب وقوع الحدث.
وبالإمكان الاعتماد على مثال بسيط عن أنموذج صف الانتظار المفرد لتقديم خلاصة بالأنشطة المرتبطة بوصول الأحداث ومغادرتها. إذ يمكن أن تتمثل أنشطة الوصول بالنقاط الآتية:

1. أفحص حالة الخادم (عاطل أو مشغول).

1. إذا كان عاطلا : ابدأ بخدمة الزبون ، وحدد وقت مغادرته من خلال إضافة وقت الخدمة إلى الوقت الحالي للمحاكاة ، وأشر كون الخادم مشغولا مع تحديث إحصاءات الوقت العاطل لوحدة إنتاج الخدمة.
2. أذا كان الخادم مشغولا : ضع الزبون الواصل في صف الانتظار وحدث إحصاءات طول الصف.

2.ولد وقت الوصول للزبون اللاحق وذلك بإضافة وقت الوصول إلى الوقت الحالي للمحاكاة، إذ يعد ذلك ضروريا لضمان استمرار المحاكاة .

بينما تتحدد أنشطة مغادرة الأحداث على وفق مايأتي :

1.افحص صف الانتظار (فارغ أم لا) :

1. إذا كان فارغا : تعاد وحدة إنتاج الخدمة إلى الحالة العاطلة.
2. إذا لم يكن فارغا:

ب–1يجري اختيار زبون من صف الانتظار باستخدام قواعد ضبط الصف المعتمدة ، ومن ثم تحديث طول الصف وإحصاءات وقت انتظار الزبون.

ب–2 ابدأ بخدمة الزبون وولد وقت مغادرته بإضافة وقت خدمته إلى وقت المحاكاة الحالي .

أن تنفيذ الأنشطة المذكورة آنفا يتطلب تحديد عنصرين من عناصر الوقت هما :وقت الوصول، ووقت الخدمة لكل زبون .إذ تكون عناصر هذه البيانات أما ثابتة (أي معروفة بشكل مؤكد) أو تكون مأخوذة من عينة من التوزيعات الاحتمالية التي تصف الحالة أو الموقف (Taha, 2010: 697– 698) .

ويمكن تحديد أبرز مميزات هذا المدخل وفقا لما يعرضه (Pidd, 1572004: 158 –) بالنقاط الآتية:

1.التنفيذ الفعال للنماذج باستعمال عناصر مكونة مستقلة نسبيا.

2.مرن جدا :

1. يمكن تطبيقه على مدى واسع من مجالات التطبيق .
2. يمكن استعمالإجراءات المكتبة المعيارية ، حالات التداخل المتفاعل ، والرسوم البيانية ... الخ .
3. يمثل قاعدة جيدة لأنظمة محاكاة ذات غرض خاص.
4. يمكن تطبيق مناهج هندسة البرامجيات المعيارية.

3. الجهد الكبير لتطوير الانموذج يتطلب :

1. كتابة الصيغ المفيدة للحدث باللغات ذات الغرض العام.

ب. مهارات البرمجة التقليدية تكون مطلوبة.

ج . دور قليل نسبيا للشخص الذي يقوم بصياغة الانموذج.

4.التنفيذ غير الكفوء للنماذج باستعمال عناصر مكونة تابعة نسبيا.

2– مدخل فحص النشاط (Activity scanning approach) :

لقد قدم هذا المدخل في بريطانيا في نهاية الخمسينات،إذ ظهر لأول مرة في لغات برنامج المحاكاة العامة (General simulation program – GSP) ولغة

المحاكاة والسيطرة (control and simulation language – CSL) .
وفي كلتا هاتين اللغتين فأن أجراء السيطرة على الوقت يفحص النشاط حسب ترتيب الأسبقية (الأولية) لملائمةالوقت وأحوال التنشيط (Activation) الأخرى ، وتنفيذ روتين النشاط للعنصر المكون الأول الذي يجري الإيفاء بشروطه . وعندما يحدث التنشيط فأن الفحص يبدأ
للمرة الثانية بحسب الأسبقيةإذتستمر هذه العملية حتى وقت الانتهاء.
ووفقا لهذا المدخل يجري اختيار الحدث اللاحق على أساس كل من الوقت المجدول واختبار الشرط . وأن المفهوم الأساسي له هو النشاط (Activity) والذي هو حدوث انتقال حالة تتطلب مدة من الوقت إذ يجري تمثيلها بدلالات حادثتين منقطعتين ، والتي تبدأ بالنشاط وتقوم بأنهاءه (Pidd , 2010,154).ويمثل النشاط بواسطة العنصر المكون للحالة أو الشرط (Condition component)(وهو مايعرف بالنشاط الشرطي((Conditional activityوعنصر مكون فعال (Active component) والذي يسمى النشاط الملزم (Bound activity) . وان كل عنصر مكون (على التوالي) يمثل الظروف التي بموجبها يمكن البدء بالنشاط والقيود على إكماله ، ولانتفاء مجموعة صريحة للحدث القادم، فأن كل عنصر مكون من النوع الفعال تكون له ساعة عنصر مكون خاصة به.
أن نظرة العالم (World View) إلى لغة معينة أو انموذج معين يتخذ من مدخل فحص النشاط أساسا له تتمثل بنظام ما يتكون من العناصر المكونة التي هي مشتركة في النشاطات وخاضعة إلى شروط محددة . وفي تنفيذ محدد فأن كل عنصر مكون من نوع النشاط (أو عنصر مكون متحرك) لنظام معين يكون له صيغة مفيدة لنشاط مرتبط ، والذي عند تنفيذها فأنها تنمذج المراحل الفعالة للعنصر المكون من النوع الفعال ، وصيغة مفيدة للشرط (الحالة) لغرض تحديد كون الشروط الأخرى (غير مرور الوقت) قد جرى الإيفاء بها من أجل التنشيط.وفي حقيقة الأمر ، فأن مدخل فحص النشاط يتشابه كثيرا مع مدخل جدولة الأحداث ، ومع ذلك ، يمكن توضيح الاختلافات بينهما من خلال تطبيق الأول (مدخل فحص النشاط) على أنموذج صف الانتظار المفرد . إذ يجب على القائم على إعداد الأنموذج الأخذ بالحسبان الأحداث الثلاثة الآتية :(Taha , 2010,701)

1. حدوث الوصول.
2. إكمال الخدمة .
3. بداية الخدمة .

أن الأنشطة المرتبطة بكل من هذه الأحداث هي:

1. الوصول:
   1. ضع الزبون في الصف.
   2. حدد الوصول اللاحق.

1. نهاية الخدمة : أظهر كون الخادم عاطل.
2. بداية الخدمة:

أ.أجعل الخادم مشغول.

ب. حرك الزبون من الصف .

ج.حدد حدث المغادرة للزبون .

وعند مقارنة الأنشطة لأحداث الوصول والمغادرة مع مثيلاتها في مدخل جدولة الأحداث يمكن بسهولة ملاحظة ما يأتي:

1. أن هذه الأحداث لأتسبب الحركات الأطول للزبائن.
2. عند وصول الزبون فأنه يوضع في الصف بصرف النظر عن حالة الخادم .
3. في نهاية الخدمة ، الخادم (دائما) يظهر بأنه عاطل بصرف النظر عن حالة صف الانتظار.

كما إن حدث بداية الخدمة يمثل مفهوماً جديداً مختلف كون حدوثه مرتبطاً بتحقق شروط محددة . لذا فهو يعرف بالحدث الشرطي والذي حدوثه يبدأ أوتوماتيكيا عند تحقق الشروط الآتية:

1. أن يكون هنالك زبائن في صف الانتظار .
2. أن يكون الخادم عاطلاً .

كما إن الاختلاف الرئيس بين المدخلين يتمثل بالأسلوب الذي يجري فيه تنفيذ الأنشطة الخاصة بالأحداث . ففي مدخل جدولة الأحداث فأن الحدوث لنتائج الحدث يعني تنفيذ كامل لجميع الأنشطة الشرطية وغير الشرطية للحدث . بينما في مدخل فحص النشاط تنفذ الأنشطة غير الشرطية فقط مثل : ضع الزبون في الصف ، حدد الوصول الجديد ، وأظهر الخادم عاطلاً .

وعلى الرغم من شيوع استخدام مدخل فحص النشاط بسبب سهولته وامتلاكه الهيكل الأبسط ، غير أنه يفتقر إلى الكفاءة عند تزايد عدد العناصر المكونة للحالة والشرط والتي تحتاج إلى فحص. إذ إن وقت التنفيذ للمحاكاة ينخفض بصورة نسبية وان مقدار المخزون المطلوب لخزن ساعات العنصر المكون يتزايد (Taha, 208 2004,Pidd,,2010 702) . ومع ذلك يمكن تحديد المميزات الآتية لهذا المدخل وعلى وفق مايأتي:

1. التنفيذ الكفوء للنماذج ذات العدد الكبير من العناصر المكونة التابعة.
2. نقص المشاركة لأجزاء من أنموذج معين (اختبار الشرط يجري جعله موضعي وليس مشتت في أجزاء كافة الأنموذج) .
3. القيام بعمل كبير من مدير تنفيذ المحاكاة :

أ- اختيار الشرط . ب- تحديد ترتيب التنفيذ.

4. التنفيذ غير الكفؤ للعناصر المكونة المستقلة نسبيا.

3. **<u>مدخل تفاعل العملية (Process interaction approach)</u>:**إن لهذا المدخل مميزات مرتبطة بكل من مدخل جدولة الأحداث، ومدخل فحص النشاط . وان نظرة العالم إلى لغة معينة أو انموذج يتخذ من مدخل تفاعل العملية أساسا له

تتمثل بان العناصر المكونة لنظام معين تتقدم خلال سلسلة من الخطوات (يشار لها باسم عملية) ، وكل خطوة يمكن ان تتكون من جزء من الشرط أو الحالة وجزء من الفعل ، وان تنفيذ جزء الشرط يحدد مدى إمكانية حدوث التنفيذ لجزء الفعل . ولتحقيق هذا المدخل يكون بالإمكان استخدام مداخل متنوعة للتنفيذ ، إذ يمثل الوصف الأتي احد تلك المداخل ، والذي يستخدم بصورة عامة في عمليات تنفيذ لغة المحاكاة ذات الغرض العام (GPSS)، وانه مشابه جدا لمدخل (Zeigler).إذا ستخدم هذا الباحث قائمة التنشيطات الحالية(Current Activations List) ، وقائمة تنشيطات المستقبل (Future Activations List)والتي تتناظر مع قائمة الأحداث الحالية (CEL -Current Events Lists)وقائمة أحداث المستقبل (FEL– Future Events Lists)) على التوالي وللأوصاف الآتية:

أن إجراء السيطرة على الوقت في مدخل تفاعل العملية يستعمل قائمتين للأحداث هما : قائمة أحداث المستقبل (FEL) والتي تضم ملاحظات عن الأحداث المجدول تنفيذها في وقت ساعة لاحق ، وقائمة أحداث حالية (CEL) والتي تضم ملاحظات حوادث للأحداث التي هي أصلا ملائمة من وجهة نظر الوقت لكي تنفذ ، غير أن شروطها لم تتحقق حتى الآن. وأن كل ملاحظة حدث تضم تأشيراً لموقع الخطوة الحالية للعنصر المكون لها في العملية ، وعندما يتقدم الوقت فأن جميع الأحداث المجدولة للوقت الحالي تنقل من FEL))إلى (CEL). وبعد ذلك يجري فحص (CEL)لتحديد هل أن العنصر المكون المناظر يمكن أن ينتقل إلى الخطوة القادمة أم لا. وعند توقف عنصر مكون (بسبب الوقت أو أي أحوا لأخرى) فأن الفحص يستأنف مع الفقرة القادمة في CEL))إذ يقدم الوقت عند تحقق عدم إمكانية انتقال عنصر مكون في تلك القائمة.

أن مدخل تفاعل العملية يختلف عن سابقيه في أنه يقلل الجهد المبذول من المستخدم في تطوير الأنموذج . ويمكن توضيح هذه النقطة بواسطة تطبيق هذا المدخل على أنموذج صف الانتظار المفرد . إذ يتوجب على معد الأنموذج أن ينظر للنظام على أنه مكون من ثلاثة عناصر، هي:

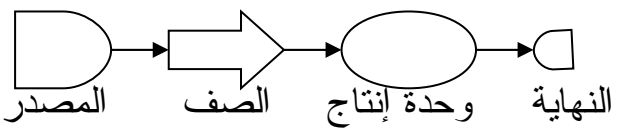
1.مصدر لتوليد وصول الزبائن.
2.صف لانتظار الزبائن.
3.تسهيل إنتاج لخدمة الزبائن.

ومن ثم يمكن تصوير الانموذج كما في الشكل (2) الذي يعكس تمثيلاً كاملاً لنظام المحاكاة. إذ يحتاج المستخدم فقط إلى تجهيز البيانات الأساسية الآتية لكل عنصر:

1. المصدر : وقت الوصول .
2. الصف : قواعد ضبط الصف .
3. وحدة إنتاج الخدمة : وقت الخدمة .

وهكذا، فأن المستخدم بصورة اعتيادية يمثل الأنموذج بالصياغة الآتية:

- ❖ المصدر (بيانات وقت الوصول) .
- ❖ الصف (قواعد ضبط الصف) .
- ❖ وحدة إنتاج الخدمة (بيانات وقت الخدمة) .
- ❖ النهاية .



شكل (2): التمثيل البياني لأنموذج المحاكاة وفقا لمدخل تفاعل العملية.

Source: Taha , H.A. , Operations Research , Macmillan Publishing Company , new York , 9th Edition , 2010,P.730.

وبعد إعطاء هذه المعلومات يكون على المشغل لمدخل تفاعل العملية القيام بما يأتي :

1. استخدام بيانات وقت الوصول لتوليد الأحداث المتتابعة من المصدر أوتوماتيكيا .
2. تقرير فيما إذا كان الزبون سيوضع عند وصوله في صف الانتظار أم سيرسل إلى وحدة إنتاج الخدمة معتمدا على حالة تلك الوحدة .
3. التوليد الاوتماتيكي لوقت مغادرة الزبون حال البدء بخدمته وذلك باستخدام بيانات وقت الخدمة .
4. عندما تصبح وحدة إنتاج الخدمة عاطلة ، المشغل يفحص الصف لتدقيق إمكانية وجود زبائن في الانتظار ، ومن ثم يحرك احد الزبائن وفقا لقواعد ضبط الصف .

أن قيام المشغل بتنفيذ الأنشطة المذكورة آنفا أوتوماتيكيا يستدعي امتلاكه لنوعين من البيانات هما:

1. الترتيب الذي فيه المصدر ، والصف ، ووحدة إنتاج الخدمة تكون مترابطة والذي يتضمن التحرك الممكن للصف عندما تكون وحدة إنتاج الخدمة عاطلة .
2. جميع البيانات المرتبطة بالمصدر والصف ووحدة إنتاج الخدمة .

وأخيرا ، يمكن تحديد المميزات الآتية لمدخل تفاعل العملية : (Pidd , 2010 , 158) .

1. تمثيل انموذج قريب من المشكلة :
1. تتابع منطقي مشابه للعمليات ضمن النظام الحقيقي .
2. يمكن تطبيقه بصورة خاصة على الأنظمة التي لها سلاسل أفعال منتظمة ويمكن التنبؤ بها.

2. التطوير والتعديل للنموذج المستقيم (Straightforward model):
1. البيانات الإضافية تقلل للحد الأدنى .

2. التركيز على المشكلة أكثر من اللغة .
3. لغات تفاعل العملية بصورة عامة أكثر سهولة في تعلمها من لغات الأنواع الأخرى .
4. يميل الأنموذج إلى إنتاج الرمز (Code)الأكثر اختصارا لأنموذج معين من المداخل الثلاثة الأخرى .
هـ .نماذج يمكن قراءتها .
3. الدعم الأكبر من مدير تنفيذ المحاكاة للمداخل الثلاثة .
4. يمكن أن يكون غير مرن فيما يخص التطبيقات غير المعيارية .
5. التعقيدات يمكن إخفاؤها عن الشخص الذي يقوم بصياغة الأنموذج (وقد يكون ذلك عيبا على استخدام المدخل).
6. يمكن أن يكون له وقت تنفيذ غير كاف نوعا ما .

4- مدخل المراحل الثلاث (Three – phase approach): أن مدخل فحص النشاط قد جرى توسيعه وذلك بإضافة مجموعة حدث لاحق مع نهاية كل نشاط (أي العناصر المكونة الفعالة) التي يجري جدولتها بصورة تامة كـــأحداث . وهو ما أصبح يعرف باسم مدخل المراحل الثلاث، إذ إن الخوارزمية لاشتقاق المحاكاة تضم ثلاث خطوات متكررة هي :

1. تقديم الوقت إلى الحدث اللاحق .
2. تنفيذ ذلك الحدث .
3. فحص العناصر المكونة للحالة (الشرط) لبداية النشاط ولحين توقف المحاكاة .

ويجري تمثيل هذا المدخل بواسطة لغة السيطرة الواسعة والمحاكاة (ECSL)بحيث يظهر للمستخدم مثلما يظهر مدخل فحص النشاط ، إذ يجري القيام بجدولة الأحداث التي تمثل نهايات كل نشاط من المدير التنفيذي ، وأن العناصر المكونة للشرط أو الحالة والعناصر المكونة الفعالة لا تزال تعطى رموز ، كما ينظر إلى المحاكاة على إنها عدد من النشاطات . وهكذا ، فأن الفرق الوحيد هو أن ملاحظة الحدث يجري جدولته للعنصر المكون الفعال وأن الساعة لم تعد مرتبطة بكل عنصر فعال .

وفي ضوء ما سبق ، فأن مدخل المراحل الثلاث قد جرى توسيعه ليضم الجدولة الصريحة للأحداث ، ولهذا فأن عنصر مكون حالة أو شرط يجب أن يجدول نهاية نشاط معين . وعلاوة على ذلك ، فقد أصبح بالإمكان جدولة أكثر من حدث، وأن حدث مجدول يمكن أن يجدول الأحداث الأخرى كما هو الحال في المدخل الأول. إذ يجري النظر إلى المحاكاة على إنها عدد الأحداث المجدولة المعتمدة على الزمن زائدا الأحداث المشروطة التي يجري فحصها. وبذلك فأن خوارزمية الخطوات الثلاث أصبحت على النحو الأتي:

1. تقديم الزمن إلى الحدث اللاحق.
2. تنفيذ جميع الأحداث المجدولة المستحقة الحدوث في هذا الزمن.

3.فحص جميع الأحداث المشروطة حتى إيقاف المحاكاة.

وبينما الفحص في حالة مدخل فحص النشاط يجب تكراره كي لا تنفذ إي عناصر مكونة مشروطة ، فأن فحص الأحداث المشروطة وفقا لمدخل المراحل الثلاث يمكن أن يجري لمرة واحدة بغض النظر عن العلاقات المتبادلة في تلك الأحداث . الأمر الذي ينتج منه فحص أكثر مرونة وأكثر كفاءة غير أنه يضع عبْ إدراك العلاقات المتبادلة بين الأحداث المشروطة على المبرمج .

إن عدداً من اللغات والبرامج الجاهزة مثل:FORSSIGHT / WITNESS BASSIM، ، و PASCAL – SIM ، قد اشتملت على هذا الشكل الموسع لمدخل المراحل الثلاثة.

أن مدخل المراحل الثلاثة يمكن أن يكون غير كفوء عندما تضم المحاكاة الكثير من الأحداث المجدولة المستقلة بحيث إن تنفيذ حدث مجدول والذي ليس له أي تأثير في الأحداث المشروطة يجعل الفحص مضيعة للوقت . ومع ذلك فأن عدم الكفاءة هذه يمكن التغلب عليها باستعمال المحاكاة الخلوية (Cellular Simulation) والتي تكون فيها جميع الأحداث المشروطة مغلقة (أو مفتوحة) في كل حالة تقديم للساعة، ويجب أن تكون مفتوحة بصراحة(أو مغلقة) ضمن أحداث مجدولة. إذ يجري فحص الأحداث المشروطة (والتي تكون مفتوحة) فقط . ولهذا فأن المبربج يمكن أن يقلل بصورة كبيرة من حجم كل فحص في كل مرة يقوم فيها بتشخيص الأحداث المشروطة التي تعتمد على حدوث واحد أو أكثر من الأحداث المجدولة

وخلاصة القول فأن مدخل المراحل الثلاث يدمج بين مدخلي جدولة الأحداث وفحص النشاط . وأن هذا الدمج يسمح بنمذجة الزمن والتغيرات التابعة للحالة بسهولة . وطالما أن أكثر النماذج التي فيها تعقيد معقول تضم كلتا هاتين الحالتين فأن مدخل المراحل الثلاثة يعد قويا جدا ويمكن تطبيقه بصورة أفضل من تطبيق مدخل فحص النشاط أو مدخل جدولة الأحداث . إلا إن مدخل تفاعل العملية والذي يزود بنظرة شمولية يمكن فهمها ، يكون من الصعب استعماله عندما يكون التفاعل بين الكيانات معقداً ومصحوباً بمطالب متنافسة على الموارد .

وهكذا ، يمكن دمج بعض المميزات الخاصة بكل من مدخل فحص النشاط وجدولة الأحداث لتقديم أهم السمات المميزة لمدخل المراحل الثلاث وعلى النحو الأتي:

1. التنفيذ الكفوء لكلا الأنموذجين بوجود عناصر مكونة مستقلة نسبيا ونماذج ذات عناصر مكونة تابعة .
2. مرن جدا .
3. مجهود كبير يقوم به المدير التنفيذي للمحاكاة (أقل طبعا من استعمال مدخل فحص النشاط فقط) .
4. غير شائع الاستخدام .

وأخيرا ، فأن اختيار أيا من مداخل المحاكاة المتقطعة المعروضة سابقا يتأثر بشكل مؤكد بطبيعة النظام المراد دراسته ، فضلاً عن المقارنة بين متطلبات النمذجة لذلك النظام والأدوات والطرائق المتوافرة . فإذا كانت أفعال العناصر المكونة للنظام غير معتمدة بصورة خاصة على مكانة العناصر المكونة الأخرى فأن مدخل جدولة الأحداث يمكن أن يكون اختيارا جيداً . وبالمقابل يفضل استخدام مدخل فحص النشاط في حالة وجود علاقات متبادلة كبيرة بين العناصر المكونة . كما أن مدخل تفاعل العملية يمكن أن يكون اختيارا ملائماً في كلتا الحالتين المذكورتين ولاسيما مع العناصر المكونة المستقلة والتابعة . بينما يكون مدخل المراحل الثلاث مناسباً أكثر عندما يصعب تطبيق مدخل تفاعل العملية طالما إن هذا المـــــــــدخل (وبحسب ما جرى تأشيره سابقا) يحقق نتائج أفضل من تطبيق المدخل الأخرى المتبقية .

2-2 المحاكاة المستمرة (Continuous Simulation) :وتستخدم أساليب النمذجة المستمرة عندما يهيمن التغيير المستمر على حالة النظام ، الأمر الذي يستلزم فحص النظام عند كل نقطة من الوقت . والمحاكاة المستمرة يمكن أن تمثل من خلال تدفق أو انسيابية السائل في المجرى أو بواسطة نمو سكان العالم(Taha, 2010,695) .

وكما سبق الإشارة ، فأن الهدف الأساسي للمحاكاة المستمرة هو الحصول على إحصاءات وثيقة الصلة بالموضوع قيد الدراسة والتي يمكن أن تستخدم لوصف سلوك الأنظمة المحاكاة . وفي الأنظمة المستمرة فأن الإحصاءات يمكن تجميعها فقط بواسطة فحص الحالة على أساس مستمر . مثلا في دراسة ديناميكية سكان العالم يكون الاهتمام بفحص بعض المتغيرات كدالة للوقت مثل : تغير السكان ، وتغير الموارد الطبيعية ، وتغير معيار الحياة .

ويمكن نمذجة الأنظمة المستمرة باستعمال أجهزة الحاسوب القياسية التي فيها تمثل المتغيرات بالفولتيات على نقاط في دورة كهربائية . ومع ذلك ، ففي السنوات الأخيرة فأن العديد من البرامجيات الجاهزة قد جرى تطويرها على أجهزة الحاسوب الرقمية لنمذجة تلك الأنظمة . ومن الأمثلة على ذلك برنامج المحاكاة الرقمية (TUTSIM) والذي يضم صيغاً مفيدة فرعية لتحقيق وظائف العناصر في الدورة الكهربائية . فبدلا من الدورة الكهربائية فأن شكل المكعب يجري تطويره ليمثل صيغة مفيدة فرعية في الأنموذج . وتعد خوارزميات التكامل العناصر الأساسية لبرامج المحاكاة للنمذجة المستمرة على أجهزة الحاسوب الرقمية(Carrei , 89 ,23) . إذ تتضمن نماذج المحاكاة المستمرة معادلات تفاضلية، لحساب معدلات القيم لمتغيرات الحالة عبر الوقت المحاكي ، والتي تحل بصورة تحليلية أو باستخدام أساليب التحليل العددي(Law and Kelton , 2000, 109) . وبينما تتميز المحاكاة المتقطعة بسهولة إبدال وتغيير أجزاء النظام المحاكي عند الحاجة إلى ذلك ، فأن المحاكاة المستمرة تمتلك أسلوباً

مباشراً وسهل للتعويض عن الأنظمة وتستخدم لتغطية الحالة المدروسة عندما يكون عدد المتغيرات كبيرا (Taha , 94 , 26) . ففي حين يجري في المحاكاة المتقطعة نمذجة كل كيان بالتفصيل ، فأن الاهتمام في المحاكاة المستمرة يكون فقط بمستوى المتغيرات والمعدل الذي تتغير فيه . ففي محاكاة نظام مخزون الإنتاج يجري النظر في عدد المواد الإجمالي في المخزون وليس في تاريخ حياة كل مادة بشكل فردي . أن التنفيذ للمحاكاة المستمرة يكون أساسا واضح المعالم ، وبذلك ينخفض دور اللغة لتقديم مساعدات مباشرة والتي تسهل مهمة أداء حسابات الانموذج المملة.

2-3 المحاكاة المندمجة (Combined Simulation) : تضم المحاكاة المندمجة كلاً من التغيير المستمر والمتقطع في آن واحد، إذ تحوي الكثير من الأنظمة الحقيقية كلا النوعين من التغيير . فلو نظرنا في انموذج النفط في الخزان ،فأن من القواعد التي تحكم هذا الانموذج هي توقف تزويد الخزان بالنفط عند وصوله إلى حد أعلى للجريان ، إذ يستمر التوقف عن تزويد الخزان بالنفط حتى ينخفض مستواه بشدة نوعا ما. وبصورة مشابهة ، عندما يصل النفط لمستوى محدد فأن الجريان الخارج من الخزان يجب إيقافه لحين تجهيز الخزان بنفط أكثر . ولهذا فأن متغيراً مستمراً (مستوى النفط في الخزان) يمكن أن يصل مستواه أو يتجاوز حدا معينا يترتب عليه تغيير متقطع (تحويل التجهيز أو غلقه أو فتحه). وفي نظام تصنيعي فأن مستوى استهلاك الأداة (المعدة) يمكن نمذجته متغيراً مستمراً ، في حين يجري نمذجة حركة العمل خلال النظام والمكائن بصورة متقطعة . وبينما تكون الماكنة مشغولة فأن الأداة تباشر عملية القطع وأن معدل استهلاكها يمكن وضعه طبقا إلى معادلة معينة . وعندما تصبح الماكنة عاطلة فأن معدل الاستهلاك يكون صفرا . وعند وصول معدل الاستهلاك إلى قيمة معينة يكون من الضروري إيقاف العملية لتمكين مشغل الماكنة من تغيير الأداة المستهلكة بأداة أخرى (Carrie ,89 ,24).

وهكذا تبرز الحاجة لنماذج المحاكاة المندمجة طالما أن العديد من الأنظمة هي ليست متقطعة بصورة كاملة ولا مستمرة بصورة كاملة أيضا .

أن هنالك ثلاثة أنواع أساسية للتفاعل الذي يمكن أن يحدث بين التغيير بصورة متقطعة لمتغيرات الحالة وتغيرها المستمر، وعلى وفق مايأتي:

1. الحدث المتقطع قد يسبب تغيراً متقطعاً في قيمة متغير الحالة المستمر.
2. الحدث المتقطع قد يسبب العلاقة التي تحكم متغير الحالة المستمر للتغير عند وقت محدد.
3. متغيرات الحالة المستمرة المحققة لقيمة العتبة (Threshold Value) قد تسبب وقوع الحدث المتقطع أو جدولة حدوثه (Pritsker ,86 ,61– 62) .

وأخيرا ، فأن نماذج المحاكاة المندمجة يمكن أن تبنى في لغة ، **SIMAN** **SIMSCRIPTII.5** ، و **SLAMII** ، والتي هي لغات مكيفة لمحاكاة الحدث المتقطع والمستمر على حد سواء (Law and Kelton , 2000 , 112) . إذ ساعدت

السرعة العالية للحواسيب الحديثة وتزايد قدراتها الخزينة على تطوير واكتمال تلك اللغات بالشكل الذي يجعلها مهيأة لمعالجة حالات الدمج بين المحاكاة المتقطعة والمحاكاة المستمرة في برنامج واحد يغطي نظاماً واحداً كحالة خاصة (Taha , 94 , 33) .

2-4 المحاكاة التصادفية (Stochastic Simulation) :في الفقرات السابقة جرى استعراض أنواع المحاكاة في ضوء نوعين محددين لطبيعة التغيير في النظام هما: التغيير المستمر والتغيير المتقطع.وضمن هذه الفقرة نتناول نوعا آخر من التغيير يتمثل بالتغيير الناتج من التنوع العشوائي والذي يحوي أشكالا عديدة(*). إذ نجد في العديد من أنظمة الإنتاج بأن أحد مكونات النظام (أو أكثر) يكون عشوائياً بصورة متأصلة : كوقت تسلم الطلبات ، ووقت وصول الزبون ، أو الوقت اللازم لأداء المهمة . وفي مثل هذه الحالات يكون الاهتمام بالتأثيرات غير المؤكدة على النظام . بعبارة أخرى ، فأن التركيز يكون على الكيفية التي يمكن بواسطتها تصميم النظام أو تحديد قواعد التشغيل لتقليل هذه العشوائيات (Martinich ,97,482-483) . وهكذا فأن الحل لهذه المشاكل يتمثل باختيار قيم عشوائية من مدى القيم الممكنة بطريقة معينة للحصول على سلسلة من القيم تعطي المميزات نفسها. وذلك يكون باستعمال طريقة معروفة مثل محاكاة مونتِ كارلو(Monte Carlo) .

أن محاكاة مونتِ كارلو هي أسم أطلق على طريقة أخذ عينات عشوائية من توزيع متغير واحد من أجل تجهيز سلسلة من القيم للاستعمال في الأنموذج (Carrie ,89,28) . وأنها الأسلوب لاختيار الأعداد بصورة عشوائية من أحد التوزيعات الاحتمالية (أو أكثر) كي تستخدم في التجربة العملية أو لتشغيل عملية المحاكاة (Meier and Others ,69,3) . إذ تتضمن هذه الطريقة استخدام عملية المصادفة لتحديد القيمة المنسوبة إلى المتغير الاحتمالي خلال التشغيل (Dilworth ,96 ,367) . وفي السنوات الأخيرة فان مصطلح مونتِ كارلو أصبح مرادفا للمحاكاة الاحتمالية (Probabilistic Simulation). غير إن طريقة مونتِ كارلو يمكن تحديدها بصورة أضيق كونها أسلوب الاختيار أرقام عشوائية من توزيع احتمالي لاستخدامها في الدورة التجريبية للمحاكاة. إذ تكون هذه الطريقة عملية رياضية تستخدم ضمن انموذج المحاكاة (Russell and Taylor, 2008, 630).

كما يشار إلى طريقة مونتِ كارلو بانموذج المحاكاة الثابت (Static Simulation Model) الذي يمثل انموذج النظام في لحظة زمنية معينة (الكبيسي 206, 99).إن تسمية هذه الطريقة بمحاكاة مونتِ كارلو نشأت من التأكيد القائل بأن عجلات لعبة الروليت في كازينو في مونتِ كارلو هي عجلات

(*) ***قد تتمثل أشكال التنويع العشوائي في نظام معين بالتأثيرات الخارجية في بيئة الأعمال التجارية أو العوامل البشرية مثل المرض ، الغياب ، المزاج ، وخطورة العمل وما شابه ذلك . فضلاً عن النواحي التي تتنوع بين حدود معروفة من دون معرفة القيم التي ليس لها أيام أو مناسبات معينة (Carrie : 89 :27)***

ليس فيها انحياز وبذلك فأن كل رقم من المحتمل أن يظهر بنفس نسبة أو احتمال الظهور لأي رقم آخر (Carrie ,89 ,28) . ولتقريب الصورة أكثر نأخذ مثالا آخر وهو رمي قطعة نقود معدنية واختيار أحد وجهيها . إذ من المعروف بأن رمي قطعة النقود تلك سيعطي وجها واحدا أو آخر من دون أن يكون هنالك احتمال ثالث . وبالمقابل لا يعرف ما هو الوجه الذي سوف يظهر في رمية محددة . وبما أن كل رمية مستقلة عن الأخرى فأن من المتوقع هو رؤية الكثير من الصور مثلما هي الكتابة عندما يجري رمي القطعة النقدية عدد من المرات . وعلى الرغم من أن طريقة مونتِ كارلو معروفة لبعض الوقت ، إلا أن تطبيقها وعمومية استخدامها في الدراسات العلمية تنسب إلى (VonNeumann and Ulam) اللذين استخدماها لدراسة مشاكل انتشار النيوترون .إذ تكيفت هذه الطريقة بصورة سريعة لحل المشاكل غير الاحتمالية مثل تقييم التكاملات المتعددة (Multiple integrals) . كما أن بعض الباحثين اقترحوا أن يقيد الاستخدام لمصطلح مونتِ كارلو للتطبيق فقط على الدراسات التي تطبق فيها مختلف أساليب التخفيض لانجاز عملية المعاينة (, Meier and Others 69,3) . وطبقا لكل من Vollmann و Mojena و Budnick فأن الاستخدام المنتشر لمحاكاة مونتِ كارلو يعزى إلى عاملين : الأول ، أن العالم الحقيقي يكون تصادفي . والثاني ، المحاكاة توافر طريقة أو أسلوب مرن لفهم الأنظمة المعقدة بدلا من الأسلوب المحدد(, 81 , AL-najjar 78) .

أن أنظمة صفوف الانتظار تمثل مجال التطبيق الرئيس لمحاكاة مونتي كارلو ولاسيما منذ التطوير للغة المحاكاة ذات الغرض العام (GPSS). فضلاً عن ذلك فأن الخطط العسكرية وخطط الأعمال تمثل تطبيقا رئيسا آخر لهذه المحاكاة . أن محاكاة مونتِ كارلو تسمى كذلك معاينة المحاكاة(Sampling Simulation) وهو أسم أعطي لهذه الطريقة التي تخلق تيارا من الأرقام العشوائية التي تستخدم مع أي توزيع احتمالي مرغوب .

ويمكن استعمال هذه الطريقة يدويا عن طريق الخطوات الست الآتية:(Carrie ,89,29-30).

1.ملاحظة المعلم الذي يراد نمذجته .
2.حساب تكرار القيم .
3.حساب توزيع التكرار المتراكم وتحويله إلى توزيع احتمالي متراكم .
4.ربط قيم المعلم بالأرقام العشوائية الموحدة في مدى 00 إلى 90 .
5.خلق تيار من الأرقام العشوائية الموحدة باستعمال جداول الأرقام العشوائية .
6.الحصول على قيمة المعلم المناظرة إلى كل رقم من الأرقام العشوائية الموحدة .

أن إجراء المحاكاة الموصوف في النقاط المذكورة يمكن أن يبرمج على الحاسوب لتقليل التكرار الممل للعديد من التجارب . وعند ذلك فأن النقاط على طول التوزيع المتراكم يمكن أن تحفظ في الذاكرة إذ يبرمج الحاسوب لتوليد القيم للرقم العشوائي ونقلها إلى قيم متغير المحاكاة مع تقيم البيانات وتحليلها بواسطة

العمليات الإحصائية واستخراج مختلف التحليلات في ضوء دورات المحاكاة (Dilworth ,96 689) .

وتجدر الإشارة هنا إلى أن الأرقام العشوائية تستخدم أساساً للحصول على العينات من أي من التوزيعات الاحتمالية المفضلة : كالتوزيع المنتظم (Uniform Distribution) والتوزيع الثلاثي (Triangular Distribution) والتوزيع الطبيعي (Normal Distribution) . وأن الأسلوب الأساسي الذي يستخدم لتوليد الأرقام العشوائية يعرف باسم طريقة التحويل العكسي (Inverse Transformation Method -ITM) . وهو الأسلوب الأسهل والأكثر شيوعا من الأساليب المستخدمة لتوليد الأرقام العشوائية(*) . والذي يستخدم المعلومات التي فيها المتغير العشوائي $F(x) = r$ يكون موزعاً بصورة منتظمة على الفاصلة (0,1) ، إذ أن الرقم العشوائي يجري توليده وجعله مساويا للمعادلة : $F(x) = r$ وذلك للحصول على عينة عشوائية من التوزيع لـ x .إذ يجري الحل لـ xإذ نحصل على :$(x=F^{-1}(r$

وللبرهنة على مصداقية أسلوب التحويل العكسي $r=f(x)$ ، (ITM) واحصل على دالة التوزيع G(.) ، ثم لـ $0\leq r\leq 1$ احصل على : $G(r)=P[F(x)\leq$ $[(r] = p[X \leq F^{-1}(r$

$$F(F^{-1}(r)) = r=$$

عليه فان r موزعة بصورة منتظمة في الفترة (0,1) . علما إن هذا الأسلوب يمكن ان يستخدم للحصول على عينات من التوزيع المستمر والمنفصل (, 87 AL-najjar, 81) .

2-5 المحـــاكـــاة المحددة (Deterministic Simulation):تتميز المحاكاة المحددة من خلال الافتراض بأن جميع العوامل التي يتضمنها الأنموذج تكون معروفة بشكل مؤكد . إذ تستخدم نماذج المحاكاة المحددة لتقييم الإجابة عن أسئلة(ماذا لو) فيما يتعلق بتأثير التغيرات في مداخلات الأنموذج أو التغيرات في الإستراتيجية في بعض مواقف الأعمال (VatterandOthers,78,427) .

إن النظام المحدد(Deterministic System) هو النظام الذي يكون سلوكه قابلاً للتنبؤ بصورة كاملة بحيث يجري توفير فهم واضح تماماً عن النظام ، ومن ثم توقع ما الذي يمكن حدوثه (Pidd , 89 , 14).

إن استخدام المحاكاة المحددة يقلل بالتأكيد من مشاكل المعاينة (Sampling) وذلك بسبب غياب العناصر أو المكونات العشوائية ضمن النظام المحـــاكي . إن

(*)توجد مجموعة من الأساليب التي تستخدم في توليد الأرقام العشوائية من بينها :

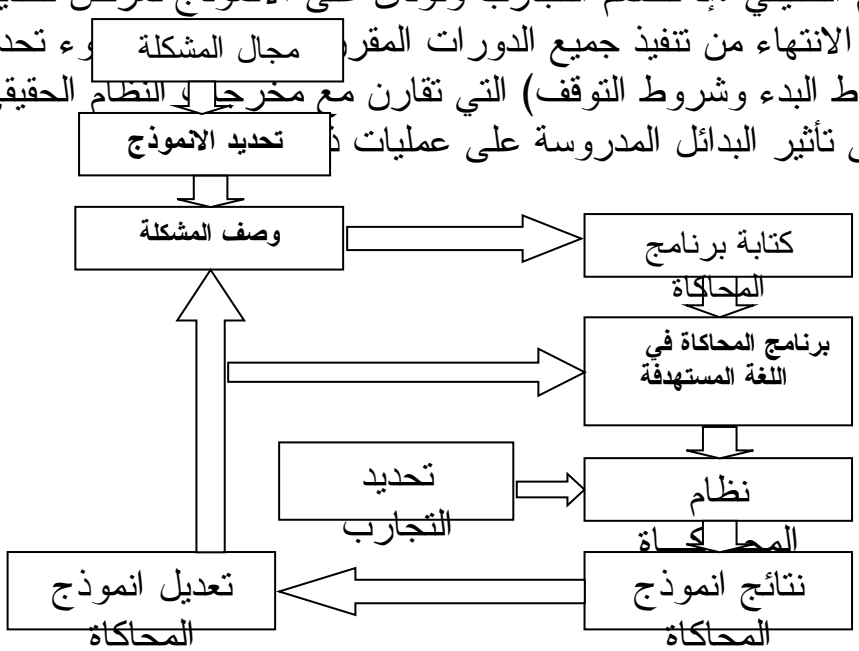
1.أسلوب وسط مربع العدد (Midsquare Technique) .

2.أسلوب (Fibonacci) .

3.أسلوب كونكريشل (Congruential Method).

مثل هذه المحاكاة تسهل مهمة المنمذج بأن يحاكي سلوك العمليـــة لمـــدة محـــددة يجري خلالها الحصول على معلومات كاملة غير خاضعة لخطأ المعاينة (Meier and Others , 69 , 300) .

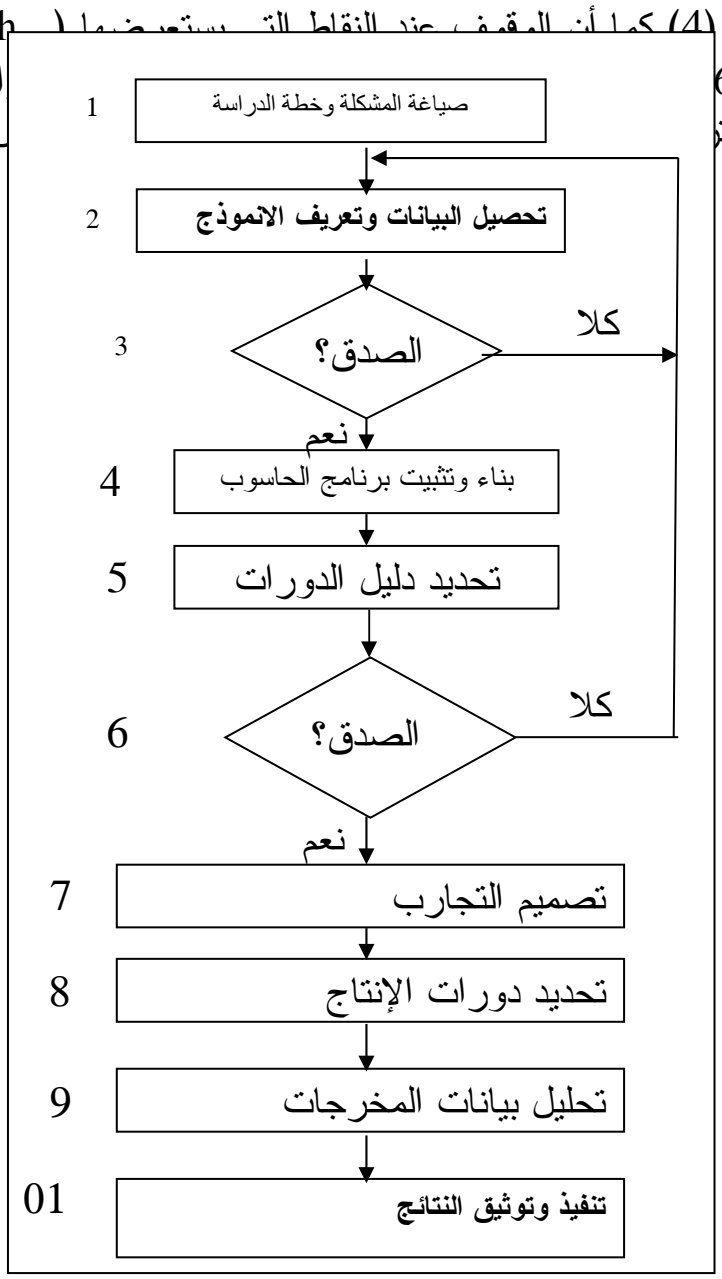
وعلى الرغم من كون جميع الأنظمة تتضمن في الواقع بعض العشوائيات ، فأن نماذج المحاكاة المحددة تكون مستخدمة كلما كان عدد العشوائيات قليلاً أو كان تأثيرها صغيراً(Martinich , 97 , 482) . وعلى أي حال ، فأن من المهم ملاحظة إمكانية استخدام كل من المحاكاة التصادفية و المحاكاة المحددة تبعاً لطبيعة المشكلة المدروسة و ما يراد تحقيقه من أهداف(, 89 , Pidd **3** . (15– **منهجية المحـــاكـــــاة:** تتضمن دراسة المحاكاة خطوات ومراحل عديدة ، والتي يجري تنفيذها على وفق تتابع محدد. وبالمقابل لا يوجد ما يمنع من تكرار بعض الخطوات أو المراحل كلما أظهرت المراحل اللاحقة الحاجة إلى تفكير أضافي في المراحل السابقة (,685 96 ,Dilworth) . وعلاوة على ذلك ، فان خطوات دراسة المحاكاة تختلف بحسب اختلاف طبيعة الدراسة ، أذ ليس بالضرورة أداء المحاكاة ضمن نمط أو سياق واحد ثابت يشمل جميع المجالات التي تستخدم عندها المحاكاة (Law, 86 , 52) .وهكذا ، فان الشكل (3) يوضح المدخل التقليدي لدراسة المحاكاة وفقا لما يطرحه (1667–1666 , Schroer and Tseng 89 ,).إذ يؤكد الشكل كون دراسة المحاكاة تتطلب امتلاك منفذ الدراسة المعرفة والفهم الواضح للمشكلة أو النظام المراد بناء أنموذج خاص به. وعند توافر هذه المعرفة يقوم المنفذ بتعريف أنموذج النظام في ضوء تحديد مفصل للمشكلة .إذ يجري بعد ذلك كتابة برنامج المحاكاة طبقا لمضمون المشكلة المحددة ، وذلك من خلال اختيار لغة معينة للمحاكاة إذ يجري التوصل إلى صياغة أنموذج المحاكاة الذي لابد من ضمان دقته ومصداقيته في تمثيل النظام الحقيقي .إذ تصمم التجارب وتؤدى على الأنموذج لغرض تحديد النتائج (بعد الانتهاء من تنفيذ جميع الدورات المقر ء تحديد مسبق لشروط البدء وشروط التوقف) التي تقارن مع مخرجا النظام الحقيقي للتعرف على تأثير البدائل المدروسة على عمليات ذ



شكل (3): المدخل التقليدي للمحاكاة .

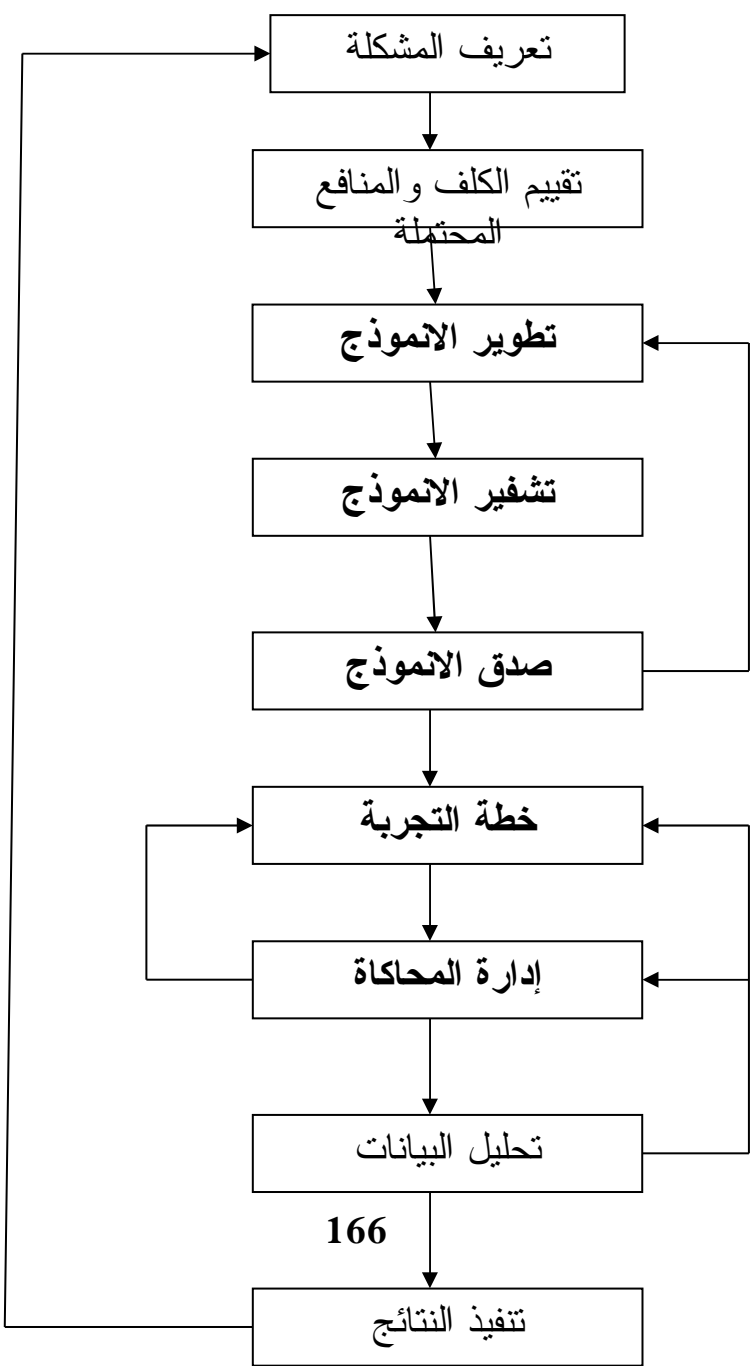
dna .J.B , reorhcS : ecruoS
umis metsys gnirutcafunaMoitcudorp fo lanruoJ lanoitanretnI
1,01.oN,72 . loV , hcraeseR

ومن جهة ثانية ، نجد إن (Law, 86, 54) يقدم عدداً من الخطوات يعرضها وفقا للشكل (4) كما أن المقوف عند النقاط التي يستعرضها (Dilworth 6,685-687) اسة المحاكاة ، والتي قد تشتر ل (5).



شكل (4)خطوات دراسة المحاكاة.

, .M.A waL : ecruoS
n xelpmoc gnizylanA ,6891 , yaM , gnireenignE lairtsudnI
. 45 .P


تعريف المشكلة
تقييم الكلف والمنافع المحتملة
تطوير الانموذج
تشفير الانموذج
صدق الانموذج
خطة التجربة
إدارة المحاكاة
تحليل البيانات
تنفيذ النتائج

شكل (5) : الفعاليات المحتملة في المحاكاة .

Source: Dilworth , J.B. ,Operations Management , McGraw Hill Companies , New York , Second Edition , 1996,P. 686.

وفضلاً عن ما سبق، فأن الشكل (6) يصف عملية تطوير المحاكاة وفقا للخطوات التي يحددها (Smith , 99 , 5-7) وعلى وفق مايأتي:

1.**تعريف مجال المشكلة:** الخطوة الأولى في تطوير المحاكاة هي التعريف بصورة واضحة بالمشكلة المراد دراستها بواسطة الأنموذج . إذ يجب تحديد أهداف ومتطلبات مشروع المحاكاة لضمان دقة النتائج المطلوبة . إذ لا يمكن بناء الأنموذج ، وتأمل النتائج ، على أساس تعارفي مبهمة وغير واضحة .

2. **تعريف الأنموذج ألمفاهيمي (Conceptual Model):** يلي تحديد المشكلة ، تعريف واحد أو أكثر من النماذج المفاهيم المناسبة والتي تتضمن الخوارزميات المستخدمة لوصف النظام ، المدخلات المطلوبة ، والمخرجات المتولدة . إذ يجري في هذه المرحلة تنفيذ الافتراضات المعتمدة عن النظام ، وتحديد تأثيراتها المحتملة على دقة نتائج المحاكاة . إذ تعرف القيود على الأنموذج ، البيانات ، والافتراضات بصورة واضحة تمكن من تحديد الاستخدامات المناسبة للمحاكاة .

أن الأنموذج ألمفاهيمي يتضمن وصف لكمية الوقت ، عدد الأفراد ، والمعدات المطلوبة لإنتاج وتشغيل الأنموذج . إذ يجري مقارنة جميع النماذج الممكنة والمبادلة بينها للحصول على حل مفرد يقابل أهداف ومتطلبات المشكلة المدروسة .

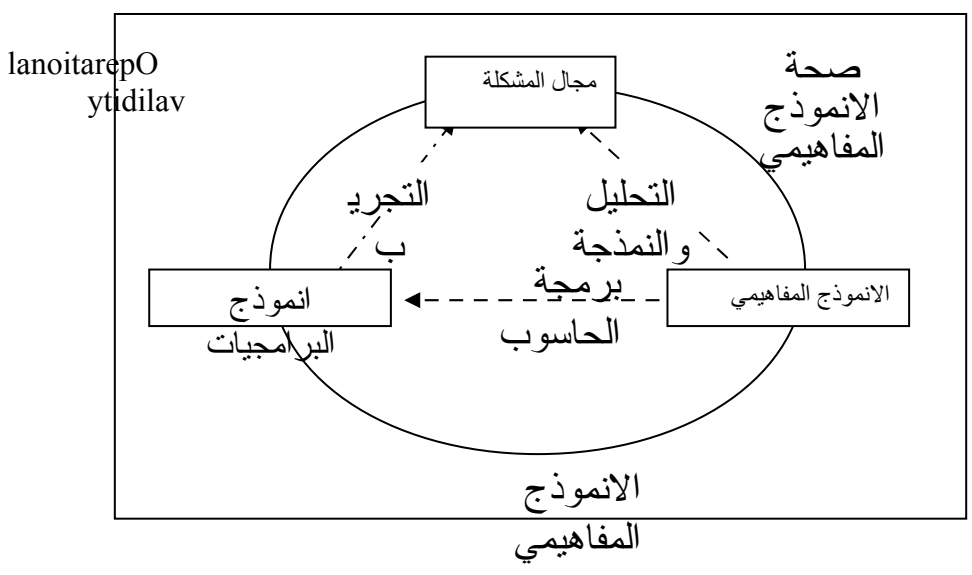
3.تحصيل بيانات المدخلات : إذ يجب تجميع البيانات المطلوبة لتعريف وتشغيل انموذج المحاكاة والتي تتضمن المعلومات التي تفيد كونها معالم للمداخلات ، المساعدة في تطوير الخوارزميات ، وتقييم الأداء لدورات المحاكاة . إذ تشتمل البيانات على السلوكيات المعروفة للأنظمة العاملة ، والمعلومات عن التوزيعات

الإحصائية للمتغيرات العشوائية المستخدمة . ويعد تحصيل بيانات دقيقة للمدخلات من أصعب المراحل في عملية المحاكاة وأكثرها عرضة للخطأ وإساءة التطبيق .

4. **بناء انموذج البرامجيات (Construct Software Model) :إذ يجري تحويل الأوصاف الرياضية والمنطقية للعالم الحقيقي إلى صيغ يمكن تنفيذها بواسطة الحاسوب .**

3. **أثبات صحة وصدق الانموذج والمصادقة عليه :**إثبات الصحة (Verification) ، الصدق (Validation) ، والمصادقة ((Accreditation VV & A)) هي مرحلة ضرورية لتأكيد كون خوارزميات الأنموذج ، بيانات المدخلات ، والافتراضات المصممة هي صحيحة وتحل المشكلة المحددة في بداية العملية . ولغرض (VV & A) فأن عملية تطوير المحاكاة تقتسم إلى مجال المشكلة ، الأنموذج ألمفاهيمي ، وأنموذج البرامجيات مع تحديد التحويلات وتقييمات النوعية بين هذه المراحل وكما موضح في الشكل (7) . أن الصدق هو عملية تحديد كون الأنموذج المفاهيمي يعكس النواحي الخاصة بمجال المشكلة التي تحتاج لان تكون مثبتة ، وكذلك كون متطلبات الدراسة يمكن مقابلتها . والصدق يستخدم أيضا لتحديد كون عمليات الأنموذج النهائي للبرامجيات ثابتة مع العالم الحقيقي ، وذلك من خلال التجريب والمقارنة مع مجموعة البيانات المعروفة . بينما أثبات الصحة هو العملية لإقرار كون انموذج البرامجيات يعكس بصورة دقيقة الانموذج ألمفاهيمي . أما المصادقة فتعني الترخيص لقبول أنموذج اليرامجيات وملاءمته للغرض المحدد في الدراسة .

6. **تصميم التجارب :** إذ تصمم التجارب للحصول على بيانات المخرجات المطلوبة لحل المشكلة . وفي هذه المرحلة تستخدم أكثر الطرائق المنتجة والدقيقة لتشغيل المحاكاة وتوليد الإجابات المفضلة .



شكل (7) عملية صحة وصدق الانموذج والمصادقة عليه (VV & A) .

. Source : Ibid , 1999 , P. 6

7. **تنفيذ المحاكاة :** ويكون في ضوء التصميم التجريبي المحدد لتنفيذ انموذج المحاكاة وتوليد بيانات المخرجات المطلوبة للمشكلة المدروسة .

8. **تحصيل بيانات المخرجات :**إذ يجري الحصول على بيانات المخرجات في ضوء تنفيذ انموذج المحاكاة ، إذ يجري تنظيم تلك البيانات وتخليصها بالشكل الذي يخدم أغراض المحاكاة.

9. **تحليل البيانات المحصلة :** وذلك من خلال التحليل المفصل للبيانات المتعددة المستخلصة من تنفيذ المحاكاة ، إذ تستخرج الاتجاهات طويلة الأمد للإجابات الكمية على الأسئلة المقدمة التي كانت وراء بناء المحاكاة . إن نتائج التحليل قد توضع على شكل جداول ، و رسوم بيانية ،و خرائط ، ورسوم متحركة ، وخلاصات .

10. **تنفيذ النتائج :** إن نتائج المحاكاة يجب أن تكون منفذة في ضوء درجة مساهمتها في الإجابة عن الأسئلة المحددة لأغراض الدراسة .

11. **توسيع الانموذج :** أن بناء نماذج المحاكاة مسألة صعبة ومكلفة . لذا فأن الانموذج الذي يجري إعداده يكون من الممكن تعديله واستخدامه في مجالات أخرى عديدة ذات صلة. إذ يتم تحديث ذلك الانموذج في ضوء المتطلبات الجديدة المحددة من المستخدمين الجدد .

ويرى الباحث بأن النظر إلى منهجية المحاكاة يمكن أن يجري من خلال الاتفاق على إمكانية تنفيذ وانجاز دراسة المحاكاة وفقا لمجموعة من الخطوات أو المراحل التي تنطوي بشكل أساسي ضمن فئتين رئيستين ، وعلى وفق مايأتي :

1. **الخطوات التمهيدية :** وتشمل:

1. تعريف المشكلة .
ب. تحليل الكلف والمنافع .
ج. تحصيل البيانات .
د. تطوير الانموذج .
هـ. تصميم التجارب وتحديد معايير المقارنة .

2. **الخطوات التنفيذية :** وتشمل:

1. تشغيل الانموذج وتنفيذ التجارب .
2. تحليل النتائج والمقارنة .
3. تنفيذ وتوثيق النتائج .
4. النظر في تطوير الانموذج .

4- برامجيات ولغات المحاكاة :

من بين المهمات الرئيسة في بناء نماذج المحاكاة في نظام معين ، مهمة تحويل خارطة التدفق لأنموذج النظام إلى برنامج حاسوب فعلي . وعلى هذا الأساس قد تستخدم المحاكاة لغة برمجة ذات غرض عام أو لغة محاكاة ذات غرض عام أو خاص على حد سواء.

إن مسألة تقديم مراجعة شاملة تغطي التفاصيل الخاصة ببرامجيات المحاكاة ولغاتها تعد مسألة في غاية الصعوبة وذلك بسبب التطورات الهائلة والمتواصلة التي مرت بها تلك البرامجيات واللغات على مر السنين . لذا فأن الهدف الأساسي الذي يتوخى الباحث تحقيقه ضمن هذا الجزء من البحث ، يتمثل أولا بالإحاطة بأبرز الاتجاهات التاريخية لتطور برامجيات المحاكاة ، ومن ثم استعراض أهم اللغات الممكن استخدامها في تنفيذ المحاكاة ضمن المستويات الثلاثة لتلك اللغات المشار إليها آنفا .

4-1 الاتجاهات التاريخية لتطوير برامجيات المحاكاة :-

أن الأهداف الرئيسة التي تقف وراء الرغبة المتزايدة في تطوير برامجيات المحاكاة تتمثل بالآتي :

1. تسهيل مهمة بناء انموذج معين .
2. تسهيل مهمة فهم مخرجات الانموذج (Carrie , 89 , 96) .

ومن أجل تحقيق الهدف الأول أضاف الكثير من مطوري البرامجيات نوعاً معيناً من البرامج الجاهزة إلى البرنامج الرئيسي لبناء انموذج ذي واجهة للمستخدم (Front end) . كما أن الكثير منهم قاموا بتطوير واجهة مستخدم جرى تكييفها لنمذجة نظام التصنيع، إذ تأخذ الكلمات المستعملة معنى محدداً (مثل الماكنة والعمل) أكثر مقارنة بلغة المحاكاة (مثل الكيان والمجموعة) . بينما تطلب تحقيق الهدف الثاني تطوير الكثير من النماذج الجاهزة والتي يكون بمقدورها تزويد نوع معين من المخرجات البيانية المرئية لتحل بصورة أساسية محل جداول الأرقام في مخطط الحاسوب .

إن بالإمكان تحديد التطورات الرئيسة في برامجيات المحاكاة في النقاط الثلاث الآتية :

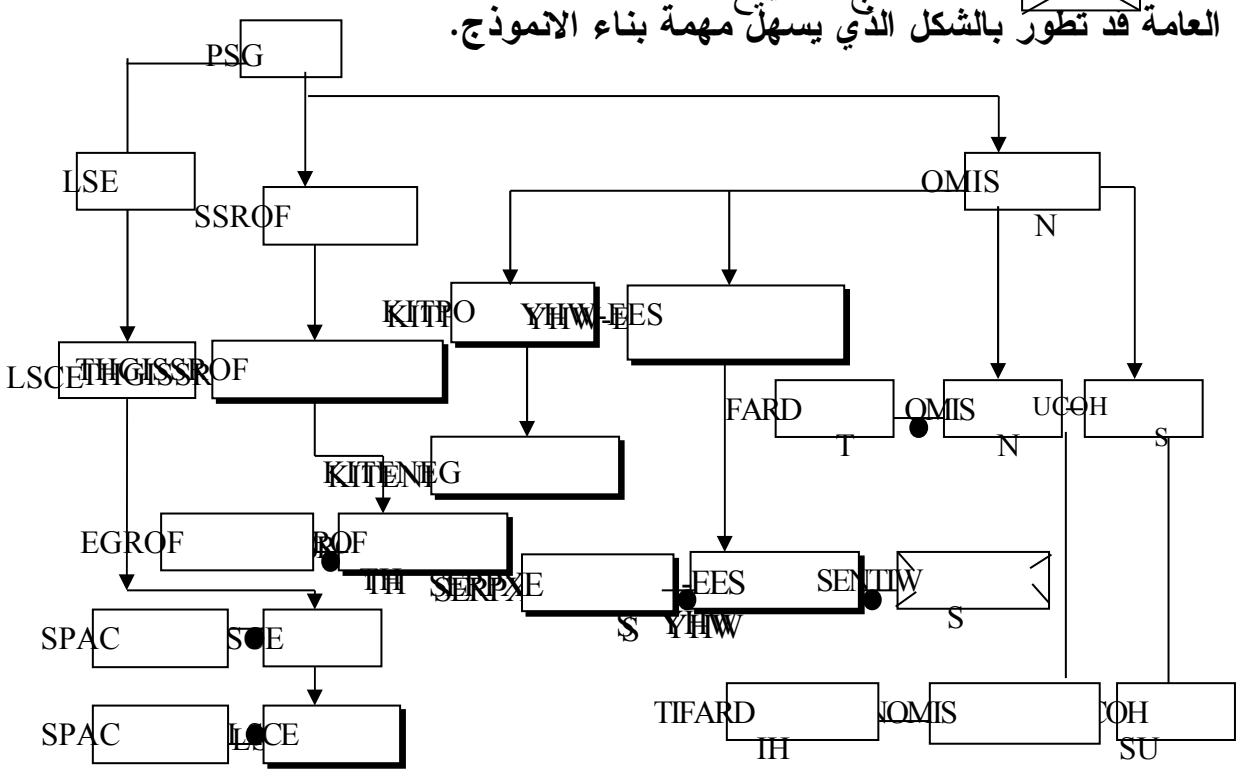
1. لغات قوية تستخدم مكتبة النماذج الفرعية ومدعمة بواسطة أدوات تطوير البرامجيات التي تؤكد سلامة البرامج وملاءمة توثيق البرامجيات .
2. نماذج شاملة سهلة الاستخدام ومعززة بالأشكال البيانية والرسوم المتحركة ومن ثم فهي تساعد على تكوين معرفة عامة للافتراضات الأساسية ومضامين العملية .
3. تكامل البرامجيات لدعم القرارات مع حرية الوصول إلى الأدوات الإحصائية وتسهيلات قواعد بيانات الإدارة (Pidd ,89 , 23 – 24).

وعند الدخول في تفاصيل الاتجاهات التاريخية لتطوير برامجيات المحاكاة ، نجد

(Carrie , 86 , 97) يشير إلى أن أول عمل ريادي في المحاكاة جرى تقديمه في صناعة الفولاذ في المملكة المتحدة من Tocherوآخرين ، وان ذلك العمل قد تمثل بتطوير أول انموذج جاهز في المحاكاة والذي عرف باسم البرنامج الجاهز للمحاكاة العامة(General Simulation Package –GSP) .إذ نجد ، بصورة فعلية ، بان جميع التطورات في المحاكاة في المملكة المتحدة قد تبعت التطوير لذلك البرنامج. وكما يتضمن الشكل (8) والذي يمثل شجرة عائلة للبرامج الجاهزة في المملكة المتحدة ، إذ يلاحظ بان **برامجيات ، ECSL، CSL ، SIMON ، FORSS و HOCUS هي بالأصل مشتقة من برنامج GSP. .**

كما يعد العمل الريادي للنمذجة المتفاعلة المرئية الذي قدمه Hurrion من خلال برنامج SEE-WHY من بين أهم التطورات في برامجيات المحاكاة ، إلى جانب التطورات المتمثلة بإضافة رسومات بيانية إلى ECSL و FORSS مثل FORSSIGHT و SIMON لتشكيل SIMON/G و HOCUS .

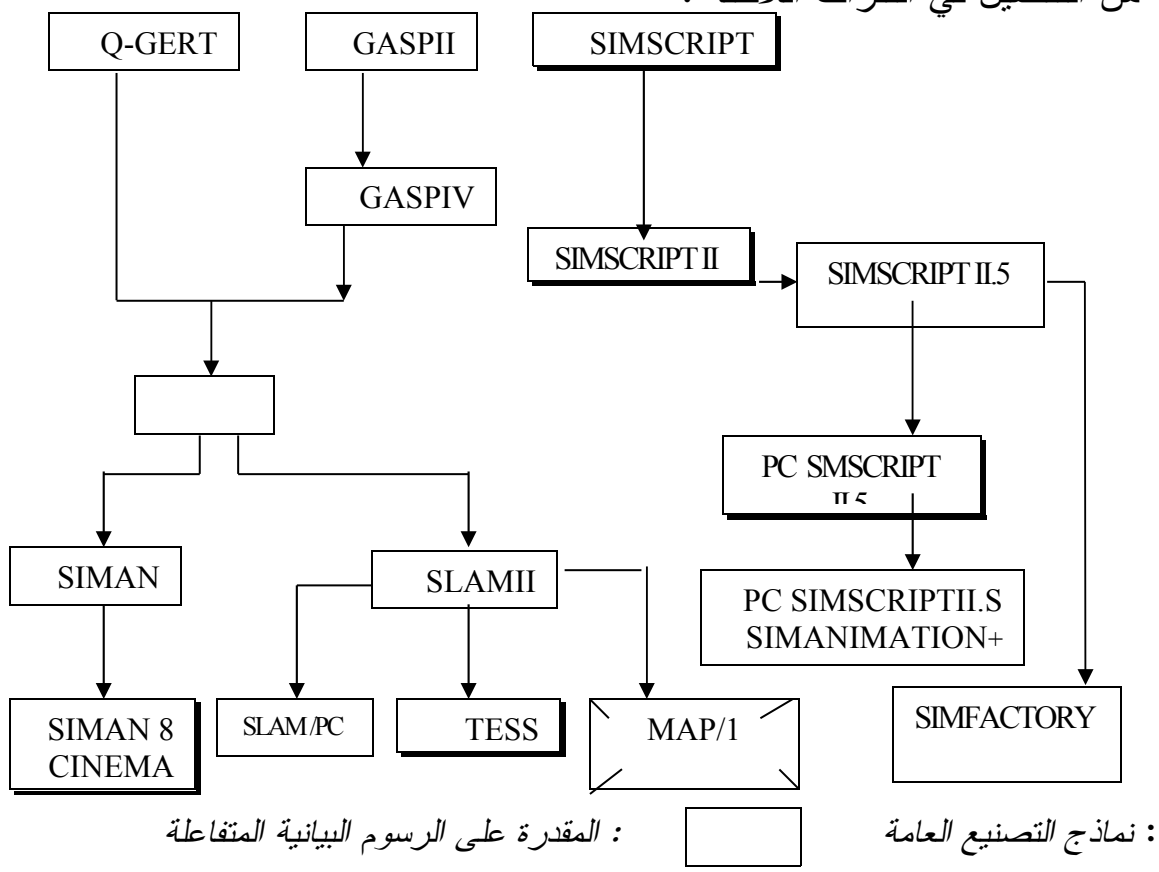
وكذلك تطوير واجهة مستخدم لبناء انموذج CAPS لـ ESCL و FORGE لـ FORSSIGHT و DRAFT لـ SIMON و ESS و لـ SEE-WHY والتي تستعمل مداخل متنوعة –انظر الشكل (8) .اضف إلى ما سبق ، كون الطريقة الجديدة لبناء النماذج قد جرى تجسيدها في حالات عديدة في برنامج جاهز جديد ، كما إن تصنيع النماذج العامة قد تطور بالشكل الذي يسهل مهمة بناء الانموذج.



شكل (8) : التطور التاريخي لبرامجيات المحاكاة في المملكة المتحدة .

Ameisya Gaicuto SfunaM fo noitalumiS , .A
kroY weN , snoS dna yeliW nhoJ

إن تطوير برامجيات المحاكاة كان قد حظي أيضا باهتمام كبير من المختصين في الولايات المتحدة ، إذ كانت المحصلة تطوير مجموعة أخرى جديدة من البرامجيات يكشف عنها الشكل (9)والذي يوضح العلاقة التي تربط تلك البرامجيات مع بعضها ، علما ان معظم هذه البرامجيات سيجري تناولها بشيء من التفصيل في الفقرات اللاحقة .



شكل (9) :التطور التاريخي لبرامجيات المحاكاة في الولايات المتحدة .

, P. 1989 Source : Ibid,99.

2-4 اللغات ذات الغرض العام :

تستخدم المحاكاة لإيجاد الحلول المناسبة لمشاكل صعبة ومعقدة التركيب والتي تكون معالجتها بالطرائق الأخرى ، على اختلاف أنواعها ، أمرا غير اقتصادي أو مستحيل أحيانا.إذ إن تلك المعالجة تتطلب بالتأكيد بناء برنامج خاص بكل مشكلة على حده ، وذلك بسبب الاختلاف في طبيعة تلك المشاكل . وطالما ان كتابة برنامج محاكاة لمشكلة معينة تحتاج إلى خبرة عالية في البرمجة والى وقت طويل ، فضلا عن الاختبارات المطلوبة لمعرفة دقة النتائج المستحصلة . ولان استخدام المحاكاة لا يقتصر على استخراج النتائج فقط ،وإنما يهدف إلى الحصول على تلك النتائج بسرعة وكفاءة عالية من خلال تقليل الوقت الذي

يستغرقه الحاسوب في تنفيذ البرنامج . لذا يكون من الضروري اللجؤ إلى استخدام لغة برمجة عامة في إعداد برنامج المحاكاة للمشكلة المدروسة ، وبما يسهل مهمة الاستفادة من البرنامج لأغراض أخرى أيضا .

أن لغات البرمجة ذات الغرض العام الممكنة الاستخدام في المحاكاة تشمل لغات عديدة مثل : فورتران ، بيسك ، باسكال و C . إذ تتجسد فوائد أو مبررات استخدامها في كونها لغات عالمية معروفة ومتوافرة في معظم أجهزة الحاسوب ، وإنها ذات كفاءة عالية من حيث سعة الخزن والزمن . إذ يكون وقت التنفيذ اقل مما يلزم في حالة الانموذج المكتوب في لغة محاكاة لكون البرنامج قد جرى تكيفه للتطبيق وفقا لغرض معين(Krajewski and Ritzman , 2005,351) .

أن لغات البرمجة ذات الغرض العام تستخدم بصورة واسعة لبناء نماذج المحاكاة سواء في المجالات التي تكون فيها لغات المحاكاة وبرامجياتها الخاصة غير ملائمة أو عندما تكون المشكلة فريدة من نوعها (Smith ,99,10) . إذ تستخدم هذه اللغات ، في الغالب ، مع نماذج المحاكاة المعقدة والهياكل الصعبة كونها تتيح مدى واسعاً للتوزيع الاحتمالي ، فضلاً عن العديد من قواعد التشغيل الممكنة الاستخدام . كما أن تصميمها على نحو لائق لتنفيذ المحاكاة يجعلها أكثر كفاءة من الناحية الحسابية مقارنة مع لغات المحاكاة (Martinich ,97,501). أما بصدد ابرز ما يؤخذ على نماذج المحاكاة المكتوبة بلغة غرض عام هو انها عير موجهة بصورة عملية نحو نمذجة المحاكاة مما يقود إلى استنزاف وقت طويل في تطوير تلك النماذج (Law,86,54) .

إن الشكل الذي يتخذه برنامج المحاكاة المكتوب بإحدى لغات هذه الفئة يعتمد بدرجة كبيرة على طبيعة المشكلة وذوق ومهارة المبرمج . ومع ذلك فأن من الضروري تحديد أسلوب فني معين من أجل التعامل مع الوقت المحاكى . وبما إن أجهزة الحاسوب الرقمي تنفذ البرنامج بأسلوب متسلسل فأن ابسط طريقة للتعامل مع الزمن تتمثل بكتابة البرنامج بالفلسفة القائلة بأن تسلسل التعليمات ينفذ مرة واحدة لكل دفعة زمنية متدرجة يجري محاكاتها والتي يمكن أن تمثل مدة طويلة أو قصيرة من زمن العالم الحقيقي وبحسب ما هو مرغوب . عليه فأن برنامج المحاكاة سوف يجدد مكانه النظام المحاكى مرة واحدة لكل دفعة زمنية متدرجة ، بحيث يجري تغيير حالة أجزاء النظام طبقا إلىالأحداث التي تحدث فيه . وبصورة فعلية ، فأن برنامج المحاكاة يعمل وكأنه يعطي تعليمات بشكل دقيق للنظام لإطار واحد لفيلم سينمائي ، ومن ثم يقوم ببناء صورة أخرى للإطار القادم من خلال تحديد التغيرات التي تحدث في الزمن المحاكى (Meier and Others , 69 , 215) . أن المدخل المذكور لإضافة الوقت الثابت يعني البدء مع حالة النظام على وفق الوقت الذي تمت عنده المحاكاة ، ثم تقديم ساعة المحاكاة على أساس كمية ثابتة من الوقت (وحدة وقت اعتيادية مثلا 10 دقائق أو يوم ..الخ) بحيث يجري تحديد الحالة الراهنة للنظام من خلال تحديد الكيفية التي

يتغير فيها خلال الوقت المنقضي ، ومن ثم استخراج الإحصاءات اللازمة . ويجب أن يكون الوقت المضاف بطول كاف للمحاكاة وذلك لضمان كفاءة العمليات الحسابية وتسجيل التغيرات في النظام ومحاكاة الفعاليات التي سمح لها أن تحدث بتكرار كاف كي تمثل الحقيقة (Martinich ,97,587) .

ومع ما سبق ، فأن الأحداث التي تغير مكانة النظام قد تحدث في فترات غير منتظمة ، بحيث يكون من الكفؤ والدقيق جدا النظر إلى الأمام نحو الحدث القادم ، والتقدم مباشرة إلى تلك النقطة في الزمن المحاكى . وباستعمال هذا المدخل فأن البرنامج يتحرك مباشرة في دفعات زمنية متدرجة غير متساوية . الأمر الذي يتطلب توافر طرائق للمحافظة على جدول الأحداث المستقبلية ، واختيار الحدث القادم ، والتحرك بصورة مباشرة إلى ذلك الجزء من البرنامج ، إذ تتغير مكانة النظام بصورة صحيحة .

أن ابرز عيوب المدخل الأول تتمثل في إن الكثير من دورات البرنامج قد يجري تنفيذها من دون انجاز أي شيء ، وأن وقت طويل من عمل الحاسوب يمكن ضياعه , في حين أن المدخل الثاني يمكن أن يكون معقداً من منظور البرمجة بحيث يتم تفضيل اللجوء إلى استخدام لغات برمجة مخصصة تتعامل بصورة تلقائية مع دفعات الوقت غير المتساوية (Meier and Others ,69,216) .

4-3 لغات المحاكاة :

4-3-1 لغات المحاكاة ذات الغرض العام :

أن هذه الفئة من لغات المحاكاة تستخدم بشكل مناسب عندما تكون المنظمة راغبة باعتماد المحاكاة للعديد من التطبيقات ، إذ يكون استخدامها لهذه اللغات بديلا أفضل من شراء برنامج محاكاة متخصص لكل تطبيق على حدة . ومن أهم هذه اللغات وأكثرها شيوعا هي لغات : (GPSS، SEE-WHY (H, V, PC ، TESS ، SLAM ، SIMSCRPIT II.5 ، SIMAN وغيرها ،والتي توافرهياكل محددة كونها مصممة لتنفيذ المحاكاة . غير انها تمنح مرونة اكبر للمستخدم لتطوير وتعديل انموذج المحاكاة

في وقت اقل من الوقت المطلوب عند استخدام لغة برمجة ذات غرض عام (Pidd, 2010, 320). ويمكن للباحث تناول الفلسفة والتطبيقات العامة لأهم لغات هذه الفئة وعلى وفق مايأتي:

1. **لغة GPSS :**

GPSS تمثل الأحرف الأولى من نظام محاكاة الغرض العام General PurposeSimulation) System) ، وهي عبارة عن برنامج محاكاة عام جرى تطويره والمحافظة عليه من شركة IBM في عام (1961) لسلاسل أجهزة الحاسوب 44\7040 و 94\7090 و 360 . و GPSS لغة مستنبطة من خلال نسخ عديدة تتبنى شركة IBM ، في الوقت الحاضر، نسختين منها هي :

GPSS/360 و GPSS/V.ولقد أظهرت النسخ الأقدم لـــ GPSS العديد من العيوب والتي جرى تقليلها من James Henriksen من شركة برامجيات Wolverine.

تعد لغة GPSS من أفضل اللغات المعروفة المعتمدة على المكعب والتي تستخدم مع مدخل تفاعل العملية لنمذجة المحاكاة لأنظمة التغيير المتقطع . وفي هذه اللغة فأن الصفات المميزة التي تمثل الأشياء الديناميكية والثانية للنظام تكون مجهزة ضمن برنامج المحاكاة. إذتمثل كيانات GPSSللأشياء الديناميكية بالمعاملات (Transaction) ، في حين أن الأشياء الثابتة تكون ممثلة بواسطة كيانين لـــ GPSS هما مكعبات التسهيل (Facility blocks) ومكعبات المخزن (Storage blocks)

وعند استخدام هذه اللغة يقوم المحلل بتطوير شكل المكعب الذي يصف النظام قيد الدراسة ، إذ يأخذ المشغل (Processor) العبارات من المكعب ويتولى انجاز المحاكاة أوتوماتيكيا . إذ تتحرك المعاملات خلال الانموذج (النظام المحاكى) من مكعب إلى أخر(تمثل كل حركة حدث في النظام) ويتفاعل مع الكيانات الثابتة أو موارد النظام. إذ تنتهي المحاكاة في ضوء حالات الإنهاء المحددة والتي يراد حدوثها قبل إيقاف المحاكاة . علما أن نسخ GPSS متاحة لمعظم الأشكال الرئيسة الكبيرة لمكائن الحاسوب ، وأن GPSS/H منفذة على مكائن IBM 370), (30xx & 43xx)) كما هو الحال لمكائن VAX لشركة المعدات الرقمية .

2. لغـــــة SIMAN:

SIMAN كلمة مركبة من تحليل المحاكاة (Simulation Analysis) وهي لغة محاكاة ذات غرض عام ، طورها Dennis Pegden من جامعة (PemsyivoniaState) ، إذ قدمت لأول مرة في عام 1982 . وهي تسمح بتبني مدخل جدولة الحدث ومدخل تفاعل العملية مع توفير القدرات للمحاكاة المستمرة .إذ تتضمن هذه اللغة ملامح خاصة والتي تسهل محاكاة أنظمة التصنيع وأنظمة معالجة المواد.

إن الفكرة الأساسية للمكعبات في لغة SIMAN هي ، في الغالب ، مماثلة للغة GPSS مع إضافة المكعبات الخاصة والسماح باستخدام لغة فورتران لنمذجة الحالات المعقدة التي لا يمكن معالجتها بواسطة لغة المكعبات المعيارية (, Taha 2010,726) .

إن النسخة الرئيسة لـــ SIMAN سوف تعمل على أي حاسوب مع المصنف فورتران 66 . فهي حاليا تعمل على حواسيب -CDC ,HEWIETT ,DEC ,IBM ,HONEYWELL ,UNIVAC ,PRIME ,POCKARD.

فضلاً عن عملها على الحواسيب المايكروية، باستخدام نظام التشغيل MS-DOS ، والتي تتضمن : IBM-PC,WANG-PC,VICTOR9000,TIPROFESSIONAL ZENITH100, HP150,COMPAD,COLUMBIA,DECRAINBOW

ويرى الباحثان بأن كلا اللغتين (SIMANو GPS) يمكن إدراجهما تحت تصنيف لغات المحاكاة المعتمدة على المكعبات أو لغات المحاكاة لمدخل تفاعل العملية مع الأخذ بالحسبان كون SIMAN تناسب النمذجة لمدخل جدولة الحدث فضلاً عن عملها مع محاكاة الأنظمة المستمرة .

3. **لغة Q –GERT :**

وهي لغة مكتوبة بلغة فورتران المعيارية ، يكون فيها الهيكل الأساسي لأنموذج المحاكاة عبارة عن شبكة (Network) تتألف من عقد (Nods) وأنشطة (Activities) أو فروع (Branches) . وعند البدء بالمحاكاة يجري تحويل الشبكة إلى رموز للحاسوب من خلال مجموعة من العبارات.

وعلى الرغم من التسهيلات الكثيرة للترميز التي تقدمها هذه اللغة ، إلا انها تبقى غير محببة للمستخدم ، والذي يرى عدم ضرورة كتابة الصيغ المفيدة الفرعية الخاصة بلغة فورتران أو المعادلات اللازمة لملائمة المواقف المحددة والتي لا يمكن ترميزها بصورة مباشرة من خلال التسهيلات المتاحة للغة Q-GERT . كما أن لغة فورتران تقيد أسماء البرامج الفرعية وفقا لخصائص معينة بحيث يكون حفظ تسلسل الأحداث لجميع تلك الأسماء السرية شيء مخيب أو محبط في أوقات عديدة .

4. **لغة SLAM :**

هي لغة محاكاة معتمدة على فورتران ، قدمت في الأصل في عام 1979 وطورها Pritskerوآخرون . و SLAM عبارة عن الأحرفالأولى من لغة المحاكاة لنمذجة البدائل (Simulation Language for Alternative Modeling) .وهي تدعم وجهات النظر الثلاثة المختلفة للنمذجة (المحاكاة المتقطعة ، المحاكاة المستمرة)والجمع بين الاثنين. إن هذه اللغة تمثل التكملة للغة Q-GERTإذ توافر كل من قدرات الشبكة وقدرات الحدث المتقطع إلى جانب نماذج المحاكاة المستمرة (Taha , 2010,727).

ويعد SLAMIIالإصدار الأخير للغة SLAM والذي يتيح الفرصة لنمذجة مداخل تفاعل العملية ، وجدولة الحدث ، والمحاكاة المستمرة أو أي حالة دمج لهذه المداخل تستخدم لتطوير انموذج محاكاة منفرد .

5. **لغة SIMNAT :**

أن قدرات مدخل الشبكة للغة SLAM ليست قوية بشكل كاف لمعالجة المواقف المعقدة كالجدولة في بيئة الإنتاج حسب الطلب . عليه فأن اللغة الجديدة المعتمدة على الشبكة والمصممة لنمذجة تلك المواقف بصورة مباشرة هي لغة SIMNAT والمكتوبة كليا على أساس لغة فورتران (Taha , 2010 ,727).

تمتلك لغة SIMNAT أربعة عناصر أساسية هي :

1. صيغ مفيدة لإدارة الوقت وملفات قائمة الأحداث وملفات المستخدم .
2. صيغ مفيدة للمنطق تكون مسؤولة عن ربط الوحدات منطقيا .
3. صيغ مفيدة للتنظيم والتي تختص بعمل الحسابات ، توليد العينات العشوائية وإعطاء القيم الابتدائية للنظام .
4. صيغ مفيدة للإخراج والتي تلخص النتائج النهائية للنظام المحاكى (Taha , 94,92).

6.لغة SIMSCRIPT :

طورت هذه اللغة ، في الستينات ، في شركة RANDإذ صممت على أساس RANDلأجهزة حاسوب IBM 709/7090 ومركز تحليل كليفورنيا . وقد جرى تطوير أجهزة تأليف SIMSCRIPT ، سواء لمعدات IBMأم لشركات الصناعية مثل ، BHILCO، GA ، RCA ، UNVACG .وهذه اللغة تتطلب معرفة سابقة ببرمجة الحاسوب ، إذ يكون من المناسب الإلمام بلغة فورتران والتي تمثل الأساس في إعداد وتطوير SIMSCRIPT (Meier and Others , 69,23) .

وتعد لغة SIMSCRIPT من أكثر لغات جدولة الحدث شهرة وانتشارا ، إلى جانب لغات SLAM و GASP . إذ تعرض هذه اللغة قدرات الشبكة فضلاً عن قابلية استخدامها في بناء نماذج المحاكاة المستمرة . فهي تنفذ أحداث الانموذج وتخزنها وتسترجعها في الترتيب الزمني المناسب مع توفير تسهيلات الترميز التي تمكن المستخدم من الوصول إلى البيانات الداخلية والتأثير فيها خلال سير المحاكاة (Taha , 2010 ,727) . إن النظام المراد محاكاته وفقا لـــ SMSCRIPT ، يحدد بدلالات الكيانات وخصائصها ، وخصائص النظام ، والمجموعات . وان الكيانات يمكن أن توجد بصورة دائمية في جميع أجزاء المحاكاة أوأن توجد بصورة مؤقتة إذ يجري إنشاؤها وتدميرها في سياق المحاكاة (انظر مثلا في وصول ومغادرة الزبون ككيان مؤقت). وان المجموعات تمتلك أما من النظام أو من الكيانات في النظام والتي يمكن ملؤها بهذه المجموعات ، إذ تزود SMSCRIPT القابليـــــــة لبحث هذه المجموعات وإزالة الكيانات منها .

إن نظرة العالم للمحاكاة المتقطعة في SMSCRIPT تستخدم هياكل نمذجة لمدخلي توجيه الحدث وتفاعل العملية . ففيمايخص المدخل الأول فان النظام

المراد نمذجته يوضع في صيغ الكيانات ، الصفات المميزة ،المجموعات والأحداث. وان SMSCRIPTتأخذ بالحسبان نوعين من الكيانات هما : الكيانات الدائمة والكيانات المؤقتة كما إن الكيانات التي لها صفات مميزة عامة أو علاقات تكون موحدة في المجموعات ،بينما يكون السلوك الديناميكي بالنظام موصوف في صيغ الأحداث.

7-لغة ECSL:

ECSL هي الأحرفالأولى من Extended Control and SimulationLanguage)) ، وهي إحدى لغات مدخل فحص النشاط الذي يشتمل على لغات أخرى مثل AS ، CSL ، ESP، SIMON.إلاإن لغة ECSL هي اللغة المعروفة أفضل والأكثر انتشارا في أوروبا.

إن هذه اللغة يجري ترميزها بواسطة استخدام فورتران ويمكن أن تعمل بصورة فعلية على أي ماكنة . كما أنها تمكن المستخدم من الدخول إلى انموذج النظام بصورة متفاعلة ولاسيما للنماذج الصغيرة

(Pidd , 2004 ,153, Taha , 2010 ,729) .

8.لغة DYNAMO:

طور هذه اللغة في معهد (Massachusetts) للتكنولوجيا في عام 1959 . وهي الآن لغة ناضجة تعود في الأصل إلى تطبيق مفاهيم ديناميكية النظام لـــ (Forrester) باستخدام الحاسوب(24 , 98 , Pidd).

إن(DYNAMO)عبارة عن برنامج حاسوب يقبل مدخلات انموذج في شكل مجموعة من المعادلات و التي تعطي وصفاً للنظام المراد محاكاته . و أن (DYNAMO) يحاكي سلوك النظام عن طريق تقويم المعادلات مرة واحدة عند كل إضافة أو زيادة في الوقت يجري محاكاتها . إذ تسجل قيم المتغيرات في النظام تبعاً للزيادات في الوقت وتحضير السلاسل الزمنية المبوبة و المرسومة لتلك القي (Meier, 69 , 226) . يعمل (DYNAMO) بأسلوب مستمر ومتقطع ، وأن الإصدارات الأولى لهذا البرنامج اعتمدت بصورة جوهرية نماذج المعادلات التفاضلية (Difference Equations) ، أي بمعنى عدم السماح للمعادلات الآنية (Simultaneous Equations) بالظهور ضمن انموذج المحاكاة. ومع تطور هذا البرنامج في الإصدارات اللاحقة(ومنها DYNAMOII) أصبح بالإمكان صياغة المعادلات وفقاً لقواعد علم الجبر بمن دون تحديد . إن أشكال المعادلات المتوفرة ضمن برنامج (DYNAMO) تضم تعاملات جبرية متنوعة ، وعمليات خاصة ، مثل الدوال العامة (Common Functions) كـــ (الدالة الآسية ، اللوغارتم الطبيعي ، الجذر ألتربيعي و الجيب و الجيب تمام) و الدوال المتحركة (Switching

Functions) و الأرقام العشوائية للتوزيع الاحتمالي المنتظم و التوزيع الاحتمالي الطبيعي ، ودوال المدخلات مثل (Ramp, Step , pulse .) .
إن العلاقة الدالية بين متغير مستقل و أخر تابع يمكن التعبير عنها في DYNAMO بواسطة جدول أزواج القيم للمتغيرات . إذ يخصص المستخدم أزواج القيم المتناظرة للنقاط على امتداد المنحنى الذي يحدد العلاقة بين المتغيرات . و أن دالة (Look - up)
للجدول في DYNAMO تجد قيمة المتغير التابع الذييتناظر مع كل قيمة للمتغير المستقل . و أن القيم التي تقع بين النقاط توجد بواسطة التقريب الخطي (Linear Interpolation) (Meier and Others , 69 , 227).

ويرى الباحثان بأن الميزة المهمة لبرنامج DYNAMO تتمثل بإمكانية إعادة تنفيذ انموذج المحاكاة بقيم مختلفة لواحد أو أكثر من الثوابت من دون الحاجة إلى إعادة بناء ذلك الانموذج . كما ان المعادلات يمكن تغيرها بين الدورات وحسب متطلبات المحاكاة ، إذ يقوم البرنامج بإدارة و تشغيل الانموذج وفقاً للحالة الجديدة و قيمها ومن ثم استخراج النتائج المطلوبة . و بالمقابل فأن برنامج DYNAMO لا يسمح للمستخدم بالذهاب خارج عمليات المكعبات المعيارية من خلال استخدام صيغة (HELP) لأحداث أي إضافة لصيغ معادلات الانموذج .

4.3.2 **لغات المحاكاة ذات الغرض الخاص:**

تمثل لغات المحاكاة ذات الغرض الخاص خطوة إضافية نحو تقليل جهد البرمجة المطلوب في تنفيذ عملية المحاكاة ، كونها تعمل على توفير طريقة كفوءة في البرمجة لأنواع محددة من مشاكل المحاكاة.
أن هذه الفئة من اللغات تصمم لمحاكاة الأنظمة التي لها هيكل وتطبيق خاص ، فعلى سبيل المثال فأن AUTOMOD, MAP/1 ,SIMFACTORY هي مهمة بصورة محددة لمحاكاة مشاكل التصنيع ، إذ إن لهذه اللغات أنواعا معينة من المكونات والعلاقات التي تحدث بصورة عامة في أنظمة التصنيع كمحطات العمل ، طرائق توليد أوقات الوصول وأوقات التشغيل ، وحجم الدفعة ... الخ . لذا فهي تجعل من السهل تنفيذ المحاكاة من خلال العمل مع هيكل المكونات والعلاقات من دون الحاجة إلى إن انجاز نماذج أكثر تفصيلا .
ويمتاز استخدام لغة المحاكاة ذات الغرض الخاص بتوفير فرصة إضافية لتخفيض جهد ووقت البرمجة ، كذلك قدرتها على إعداد الرسوم البيانية المتحركة لمخرجات المحاكاة بحيث تمكن المحلل أو المدير من مشاهدة تغير النظام المحاكى بصورة بيانية على مدى الوقت ، كما انها تتطلب برامج فرعية بالحد الأدنى.أما ابرز عيوب استخدامها فتتمثل بفقدان المرونة لتعديل انموذج المحاكاة (54, 86, Law and 501 ,97, Martinich) .

وعندما يكون برنامج ذو غرض خاص متوافراً بشكل ملائم فان استخدامه يكون الطريقة الأكثر سرعة والأقل سعرا لتنفيذ دراسة المحاكاة . اخذين بالحسبان المشاكل التي يمكن مواجهتها في الحصول على مواصفات البرنامج والتوثيق المفصل والحصول على أحواض (DECKS) وأشرطة البرنامج . كما إن البرامج المتاحة قد لا توافر القابليات أو القدرات المطلوبة التي يرغب بها المستخدم (Meier and Others,69,214) .

وفي ضوء العرض السابق لبرامجيات ولغات المحاكاة ، تجدر الإشارة إلى إن اختيار اللغة التي تستخدم لانجاز المحاكاة مسألة ليست سهلة . فعلى الرغم من امتلاك المحلل حرية الاختيار في حالات كثيرة وبمن دون إي قيود ، إلا إن محددات الزمن والكلف تقلل عادة بدائل اللغات التي يمكن الحصول عليها بسهولة لأجهزة الحاسوب المتوفرة . وعندما يكون المحلل في موقع جيد ، بحيث يمتلك بدائل عديدة ، فان تركيزه يجب أن ينصب نحو اختيار اللغة الملائمة في ضوء الفروقات الرئيسة بين اللغات .إذ إن لكل لغة تركيباً أو فلسفة يمكن أن تجعلها أكفأ أو ملائمة أكثر لأنواع محددة من المشاكل.إذ إن الاختيار غير المناسب قد يسبب فشل مشروع المحاكاة وعدم انجازه في وقته المحدد . وعموما فان فوائد برمجة انموذج المحاكاة بلغة محاكاة خاصة بدلا من لغة برمجة ذات غرض عام ، تتمثل بما يأتي:

1. لغات المحاكاة توافر بصورة أوتوماتيكية معظم الملامح المطلوبة في برمجة انموذج المحاكاة مما يقود إلى تخفيض مهم في وقت المحاكاة .
2. أنها توافر هيكل طبيعي لنمذجة المحاكاة .
3. معظم لغات المحاكاة توافر مواقع خزن متحركة خلال التنفيذ .
4. نماذج المحاكاة هي عموماً ، الأسهل للتغير عند كتابتها بمثل هذه اللغات .
5. أنها توافر اكتشاف أفضل للأخطاء بسبب كون العديد من الأنواع المحتملة من الأخطاء محددة ومفحوصة بصورة أوتوماتيكية.حيث إن فرصة تحديد الخطأ تكون اكبر .

بينما تحدد النقاط الآتية بعض فوائد كتابة نماذج المحاكاة بلغات البرمجة ذات الغرض العام وعلى وفق مايأتي:

1. يمتلك معظم المنمذجين معرفة سابقة باللغات ذات الغرض العام مقارنة بمحدودية معرفتهم باللغات الخاصة .
2. إن لغة فورتران وبيسك تكون متوفرة بصورة فعلية على جميع الحواسيب . في حين قد لا تكون لغة المحاكاة الخاصة سهلة المنال على الحاسوب الذي يرغب المحلل باستخدامه.
3. إن كتابة برنامج فورتران أو برنامج C يتطلب وقت تنفيذ قليل مقارنة بكتابة برنامج مماثل بلغة محاكاة خاصة .

4. لغات الغرض العام تعمل على توفير مرونة برمجة اكبر مقارنة بلغات محددة للمحاكاة .
5. كلفة البرامجيات قد تكون اقل (ولكن ليس ضروريا أن تكون كلفة المشروع اقل)
(Law and Kelton , 200,235-236) .

وبصورة عامة فأن، العوامل الآتية يمكن اعتمادها في اختيار لغة تنفيذ المحاكاة :
1. درجة التعقيد في المحاكاة .
2. نوع المحاكاة التي يحتمل أن تنفذ في المستقبل .
3. مهارات المستخدم في إعداد النماذج والبرامج .
4. الإجابة عن الأسئلة الآتية ولاسيما عند الاختيار بين لغة محاكاة ذات غرض عام وأخرى ذات غرض خاص :

4-1 هل يمكن للمستخدمين أن يوحدوا ما يملكونه من صيغ مفيدة للحصول على مرونة اكبر ؟

4-2 كيف تكون السهولة في حساب الإحصاءات عن أداء النظام ؟

4-3 ما هي قدرات اللغة في توفير الأشكال البيانية والرسوم المتحركة ؟ إذ يجد بعض المستخدمين بان مشاهدة المحاكاة بصورة مرئية (مثلا رؤية المواد تتحرك بين المكائن أو صفوف الانتظار) سوف تساعدهم كثيرا (Martinich ,97,501) .

5- استنتاجات البحث:

يمكن تحديد استنتاجات البحث بالنقاط الآتية :

1. يمكن تحديد مفهوم المحاكاة ، على الرغم من اختلاف وجهات نظر الكتاب والباحثين ، بالنظر إليها على أنها: أسلوب أو مدخل يعتمد بالدرجة الأساس على تصميم نموذج مناظر للنظام الحقيقي أو لجزء من عملياته ، ينفذ على الحاسوب لفترات زمنية محددة ، باستخدام مجموعة من العلاقات الرياضية والمنطقية بهدف تحديد سلوك النظام ضمن شروط ومعايير مختلفة لتشغيله . وبالتالي توفر قاعدة واسعة من المعلومات تتمثل بمخرجات التجريب وفق نموذج النظام ، تسهل عملية اتخاذ القرار بشأن المشكلة المدروسة .
2. أن بالإمكان توحيد ما يقدمه الكتاب والباحثين بخصوص أسباب أو مبررات استخدام المحاكاة وسعة انتشارها ضمن النقاط الآتية:
   1. قدرتها على معالجة المشاكل ذات الطبيعة المعقدة والتي تكون معالجتها بالطرائق الأخرى غير ممكنة أو غير اقتصادية .
   2. ارتباط التجريب مع النظام الحقيقي بكلفة عالية وبمخاطرة أعلى.
   3. دورها المتميز في تدعيم الميزة التنافسية للشركة من خلال الإضافات التي يمكن إن تحقق على مستوى قدرات ومهارات الأفراد ، تحسين

إجراءات التشغيل ، المساعدة في اتخاذ قرارات صائبة ، والتنبؤ بالأحداث المستقبلية الممكنة .

4. التطور الهائل في مجال الحاسوب والانتشار الواسع لبرامج المحاكاة الجاهزة وبالعديد من لغات البرمجة .

1. تستخدم المحاكاة لدراسة أية مشكلة ، إلا إن مسؤوليتها تنحصر وفق شروط محددة من أهمها:

1. قدرة النموذج المستخدم ، في تمثيل سلوك النظام ، على تحديد العلاقات بين المتغيرات في صيغ رياضية ومنطقية .

ب.إن يمثل النموذج المستخدم التأثيرات الأولية المرتبطة بالمشكلة المدروسة بشكل صحيح .

ج.إن تكون افتراضات النموذج ممثلة بصورة كافية للنظام الحقيقي . بمعنى أنتتاح الفرصة لمن يتعايش مع النظام لأجل تقييم مصداقية نموذج المحاكاة المعتمد في تمثيل ذلك النظام .

د.أن يأخذ بالحسبان كون المحاكاة لا تعني الامثلية . أنها فقط تبين نتائج النموذج عند التجريب للبدائل المحددة ضمن مجموعة خاصة من الافتراضات .

3. تختلف خطوات تنفيذ المحاكاة تبعا إلى اختلاف طبيعة الدراسة . إذ ليس بالضرورة أداء المحاكاة ضمن نمط أو سياق واحد ثابت في جميع المجالات . وبذلك يمكن النظر إلى منهجية المحاكاة على أساس احتواءها على عدد من الخطوات التي تنطوي ضمن فئتين رئيستين : تشتمل الأولى على الخطوات التمهيدية بدءاً بتعريف المشكلة وتحليل الكلف والمنافع ، وتحصيل البيانات ، وتطوير النموذج ، وصولاً إلى تصميم التجارب وتحديد معايير المقارنة . بينما تضم الثانية الخطوات التنفيذية بدءاً بتشغيل النموذج وتنفيذ تجارب المحاكاة ، وتحليل النتائج والمقارنة ، وتنفيذ وتوثيق تلك النتائج ، ووصولا إلى تطوير النموذج .

4. إن اختيار اللغة التي تستخدم لانجاز المحاكاة مسألة ليست سهلة . فعلى الرغم من امتلاك المحلل حرية الاختيار في حالات كثيرة ومن دون إي قيود ، إلا إن محددات الزمن والكلف تقلل عادة بدائل اللغات التي يمكن الحصول عليها بسهولة لأجهزة الحاسوب المتوفرة .

5. من الضروري أن ينصب تركيز المحلل لتجارب المحاكاة نحو اختيار اللغة الملائمة في ضوء الفروقات الرئيسة بين اللغات .إذ إن لكل لغة تركيباً أو فلسفة يمكن أن تجعلها أكفأ أو ملائمة أكثر لأنواع محددة من المشاكل. إذ إن الاختيار غير المناسب قد يسبب فشل مشروع المحاكاة وعدم انجازه في وقته المحدد.

قائمة المصادر

أولا: الكتب العربية:

1. الكبيسي، موقف محمد، بحوث العمليات : تطبيقات وخوارزميات ، دار ومكتبة الحامد ، الطبعة الأولى ، 1999 .
2. جزاع، عبد ذياب ، بحوث العمليات، مطبعة التعليم العالي، بغداد، الطبعة الثانية،1987.

ثانيا : الكتب الأجنبية:

1. Carrie, Allan, Simulation of manufacturing systems, John Wiley & Sons, New York, 1989.
2. Dilworth, T.B.,Operation Management, Mcgraw – Hill ,New York , Second Edition , 1996.
3. Krajewski, L.J. &Ritzman, L.P., Operations Management: Strategy and Analysis, Addition-Wesley Publishing Company, New York, 2005.
4. Law, A.M., and Kelton, D.W., Simulation Modeling and Analysis, McGraw– Hill, Inc., New York, Second Edition, 2000.
5. Martinich, J.S., Production and operations Management, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1997.
6. Meier, R.C., and others, Simulation In Business And Economics, Prentice-Hall, Inc. New Jeresy, 1969.
7. Pidd, M., Computer Modeling For Discrete Simulation, John Willey & Sons, Ltd., New York, 1989.
8. Pidd, M., Computer SimulationinManagement Science, John Willey & Sons, Ltd., New York, 5th Edition,2004.
9. Pidd, M., Tolls For Thinking: Modeling inManagement Science, John Willey & Sons, Ltd., New York, 3 Edition, 2010.
10. Russell , R.S. , and Taylor , B.W. , Production And Operations Management , Prentice – Hall , Inc. , New Jersey , 2008 .
11. Smith, S.B., Computer – Based Production and Inventory control, Prentice-Hall International, Inc., 2004.
12. Taha, H.A., Modelling and Simulation, Macmillan Publishing Company, New York, 1994.
13. Taha, H.A., Operations Research: An Introduction, Prentice Hall, New York, 9th, 2010.
14. Vatter, P.A., and others, Quantitive Methods In Management, Irwin, Inc., 1978.

ثالثا : الرسائل الجامعية :

1. Al. Najjar, S.M., Computer Based Materials Requirement Planning: An Experimental Evaluation of Lot– Sizing Techniques under Stochastic condition, Master Thesis Submitted to University of Texas, 1981.

رابعا: البحوث المنشورة :

1. Law A.M. , Introduction To Simulation : A powerful Tool For Analyzing complex manufacturing system , Industrial Engineering , May , 1986, P. 54 .
2. Mellichamp, J.M. , Simulation Models Are A flexible, Efficient Aid To Productivity Improvement Effort , Industrial Engineering, August , 2009,P.79 .
3. Schroer, B.J. and Tseng, F.T., An intelligent assistant for Manufacturing system simulation, International Journal of production Research, Vol. 27, No.10, 1989, P.1666.
4. Smith, R. , Simulation Article , Encyclopedia Of Computer science , Macmillan References Press ,4th Edition , November , 1999 , PP. 5-6 .