

# Project scheduling

WBS ( work break down structure ) identifies the work that it is necessary to carry out, but it does not show any constraints between activities, nor does it specify anything about scheduling, that is, when each activity should start and how long it should last. This is exactly what we are going to do

يحدد WBS (هيكل تقسيم العمل) العمل الذي يجب القيام به، لكنه لا يظهر أي قيود بين الأنشطة، ولا يحدد أي شيء حول الجدولة، أي متى يجب أن يبدأ كل نشاط ومدة استمراره. هذا بالضبط ما سنفعله

Scheduling the plan is composed of the following steps:

وتتألف جدولة الخطة من الخطوات التالية:

## 1- Identify dependencies among activities:

During this step, we highlight the dependencies in our project to understand the degrees of freedom we have in scheduling our project. Some activities will have no dependencies and we will be able to schedule them more freely. Others will depend on tasks to finish (or to start) before they can be started; for these, we will clearly have less options..

تحديد اعتمادية الأنشطة على بعضها البعض : من خلال هاي الخطوة بنسلط الضوء على اعتمادية الأنشطة في مشروعنا لفهم درجات الحرية التي لدينا في جدولة المشروع

### Identify Dependencies

- The execution of activities is constrained by the logic of the plan (you do not build the roof before the foundations and structure of a house are laid completed)

تنفيذ الأنشطة مقيد بمنطق الخطة (مثلا أنت لا تبني السقف قبل وضع أسس وهيكل المنزل)

- Hard and soft dependencies:

#### 1- Hard dependency :

Not much you can do about it...

- They might either derive:

– From the project “logic” (e.g. testing has to come after coding)

تكون بسبب طبيعة العمل مثلا ما ينفج عمل test قبل ما اكتب الكود

– From external dependencies (e.g. a contract sign-off; a particular alignment of planets is necessary to launch a spacecraft)

من التبعيات الخارجية مثل توقيع عقد يعني مفروضة علينا فرض

- Eliminating hard dependencies can be done, at a cost (e.g., increased risk, re-work)

دانما بنحاول نقل ال hard dependency ونزود ال soft حتى لو كلفنا اكثر

## 2-Soft dependency :

مثلا بأسس السباكة قبل الكهرباء ويمكن اعملهم مع بعض عادي

Due to a choice among all possible alternative plans

- They might either derive:

– From discretionary choices (e.g., the PM chooses the order in which modules are to be developed)

– From resource availability and leveling (e.g., the PM or the planning tool sequences two tasks relying on the same resource)

• Notice that, as time progresses, it might become difficult or impossible to “undo” soft dependencies (e.g. a resource is shared by different projects)

بسبب الاختيار بين جميع الخطط البديلة الممكنة

قد تستمد إما

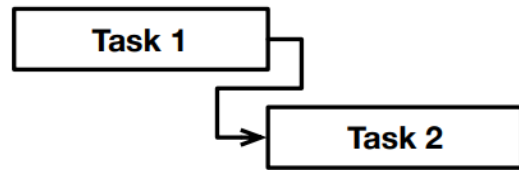
\*من الخيارات التقديرية (على سبيل المثال، يختار مدير المشروع الترتيب الذي سيتم به تطوير الوحدات) -

من توافر الموارد وتسويتها (على سبيل المثال، يقوم مدير المشروع أو أداة التخطيط بتسلسل مهمتين بالاعتماد على نفس المورد)

لاحظ أنه مع تقدم الوقت، قد يصبح من الصعب أو المستحيل «التراجع» عن ال soft dependency (مثلاً، تتقاسم مشاريع مختلفة مورداً)

## Task Dependency Relationships:

### 1\* Finish-to-Start (FS)



B cannot start till A finishes

Most commonly used

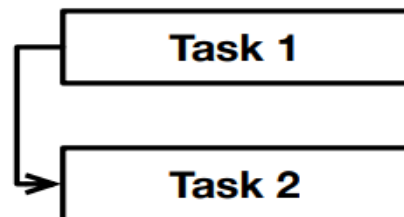
يعني لو كان عندي نشاطين (A , B) ما بيقدّر B يبدأ قبل ما ينتهي A وهو الأكثر استخداماً

مثال :

The activity “baking a cake” can start only when all the ingredients have been poured into the baking pot

لا يمكن أن يبدأ نشاط «خبز الكعكة» إلا عندما يتم سكب جميع المكونات في وعاء الخبز.

### 2\* Start-to-Start (SS)



– B cannot start till A starts

يعني ما بيبدأ B إلا لما يبدأ A

مثال :

A “monitoring” activity can start only when the activity that is being monitored starts

لا يمكن أن يبدأ نشاط «الرصد» إلا عندما يبدأ النشاط الذي يتم رصده.

### 3\* Finish to finish (FF). An FF constraint between A and B describes a situation

in which B can finish only when A finishes.

يمكن أن تنتهي B فقط عندما تنتهي A

4. Start to finish (SF). An SF constraint between A and B describes a situation in which B can finish only when A starts

يمكن أن ينتهي B فقط عندما يبدأ A

Lead and Lag Time :

- Dependencies between activities can have a non zero duration
- Lag time = delay introduced by the dependency is positive (some time passes between the two tasks)

يعني مثلاً التاسك A والتاسك B بينهم يوم انتظار (الزمن بين التاسكين موجب )

- Lead time = the duration of the dependency is negative (the activities partially overlap)

يعني مثلاً قبل ما ينتهي التاسك بمدة معينة لازم يبدأ التاسك الثاني (المدة المعينة هاي اسمها Lead time) ويكون الزمن هان سالب

مثال : أنهيت عمل معين وبك تعمل ارشفة لازم مثلاً يكون عندك يومين على الأقل وبعدها بتعمل ارشفة عشان تكون بتشغل صح ← اليومين هذول بنسميهم lag time

نشوف هادا المثال :

Table 3.11 A Plan Specification

ID	Activity	Dependency
1	A	
2	B	
3	C	1, 2SS
4	D	
5	E	3FS + 3d, 4

شو العلاقة بين task A و task C ؟

العلاقة هي finish to start

يعني لازم تنتهي A عشان تبدأ C

rules of the thumb

- Use milestones (and deliverables) to clearly mark “phase” transitions (or some important transitions from an activity to another)
- Try and minimize task dependencies (to minimize delays due to some activities waiting for some other activities to end)
- Evaluate alternatives
- Certain activities might just depend on calendar (and be constrained by dates)
- Take into account all dimensions (cost, quality, and time): minimize time might increase costs, risks, and compromise quality

## 2- Identify the critical path of the plan:

The goal of this activity is to identify the most critical activities in the plan. These are the activities that, if delayed, will delay the plan.

تحديد المسار الحرج للخطّة:

والهدف من هذا النشاط هو تحديد أهم الأنشطة في الخطّة. هذه هي الأنشطة التي، إذا تأخرت، ستؤخر الخطّة.

Not all activities are equally important or critical in a plan

ليست كل الأنشطة مهمة او حرجة في الخطّة

- The critical path method looks at those activities which determine the duration of a plan
- طريقة المسار الحرج (critical path) بتحدد لي الأنشطة المهمة وبتساعدني في حساب الوقت اللازم لتنفيذ الخطّة
- These activities constitute the critical path

وتشكل هذه الأنشطة المسار الحرج

- Any arbitrarily small delay in any activity in the critical path will delay the finish date of a project

أي تأخير بسيط في أي نشاط في المسار الحرج سيؤخر تاريخ الانتهاء من المشروع

- The computation is based on Network Diagrams (a graph representation of the plan)
- يعتمد الحساب على مخططات الشبكة (تمثيل رسم بياني للخطّة)

Network Diagrams

مخططات الشبكة

- Developed in the 1950's

تطورت في 1950

- A graphical representation of the tasks necessary to complete a project (plan as graph)

هو عبارة عن عرض بياني للمهام اللازمة لإنجاز المشروع (الخطة في شكل رسم بياني)

- Visualize the flow of tasks & relationships

تصور تدفق المهام والعلاقات

- Two classic formats

– AOA: Activity on Arc (or Activity on Arrow)

– AON: Activity on Node

- Conventions:

– Each task labeled with an identifier and a duration (in std. unit like days)... variations are possible

– There is one start and one end event

– Time goes from left to right

كل مهمة تحمل علامة هوية ومدة (باللغات الرسمية. وحدة مثل أيام)... الاختلافات ممكنة

هناك بداية واحدة وحدث نهائي واحد

- الوقت ينتقل من اليسار إلى اليمين

هنا ممكن يجي يقلك قارن بين ال activity on node وال activity on arrow وذكرتها في تلخيص ال PERT وخرجت ثاني نفهمهم بالتفصيل

AOA (Activity on Arrow)

(نشاط على السهم) AOA

a.k.a ADM (Activity Diagramming Method):

– Circles represents Events (e.g. 'start' or 'end' of a given task)

– Lines representing Tasks, such as 'Design'

a.k.a ADM (طريقة تخطيط النشاط):

تمثل الدوائر الأحداث (مثل «بدء» أو «نهاية» مهمة معينة

خطوط تمثل المهام، مثل التصميم

- AON (Activity on Node)

AON (نشاط على العقدة)

a.k.a. PDM (Precedence Diagramming Method):

– Tasks are on Nodes

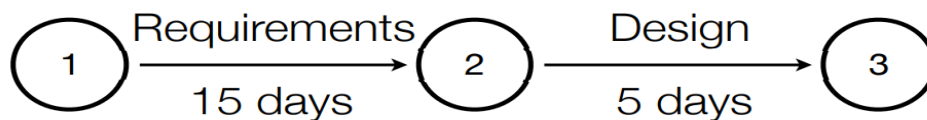
-Arcs represents dependencies between task

- المهام على العقد

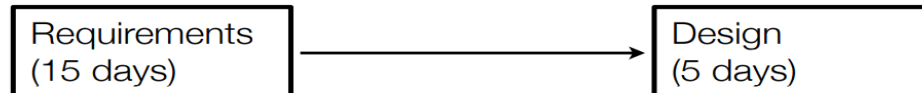
- تمثل الأقواس التبعية بين المهام

Graphical Formats Of AOA &AON :

AOA: Activity on Arc



AON: Activity on Node



في حالة AOA مثل النشاط والزمن اللازم لتنفيذه (Duration) على السهم أما في حالة ال AON فيمثلهم بداخل ال node

which one is better ?

طيب هلا مين الأفضل ؟ تعال نقارن بينهم

AOA initially used by Walker and Kelly for PERT

استخدم AOA في البداية من قبل Walker و Kelly لـ PERT

- AON more flexible and easier to draw

AON أكثر مرونة وأسهل في الرسم

AOA simpler to use for certain algorithms

AOA أبسط للاستخدام في خوارزميات معينة

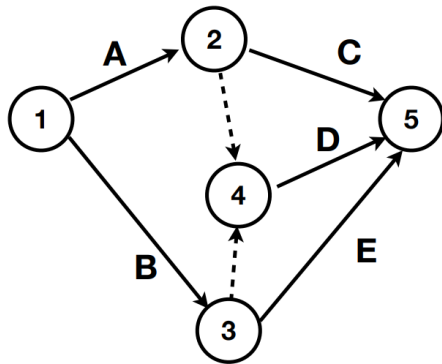
طيب مين الأفضل في عملية ال computation ؟ ال AOA أفضل

نشوف مثال على كل واحد منهم :

Consider the following plan:

Activity	Predecessors	Duration
A	None	3 months
B	None	4 months
C	A	3 months
D	A, B	1 month
E	B	2 months

معطيني جدول فيه كل تاسك على مين بيعتمد من التاسكات والزمن اللازم لتنفيذ التاسكات



هنا النشاط على السهم يبقى عندي AOA الأسهم المتقطعة هنا عبارة عن Dummy activities

for instance a plan with four activities, P, Q, R, and S, in which Q depends upon P and S depends upon R and P. The dependency between S and P requires the insertion of a dummy activity, represented with a dotted line

على سبيل المثال، خطة بأربعة أنشطة، P و Q و R و S، تعتمد فيها Q على P و S على R و P. يتطلب التبعية بين S و P إدخال نشاط وهمي، يمثل مع خط منقط

Notice that, since we can/have to add nodes and arcs, a plan does not have a unique AOA associated to it

لاحظ أنه نظرًا لأنه يمكننا/يتعين علينا إضافة العقد والأقواس، فإن الخطة لا تحتوي على AOA مميز مرتبط بها

Critical Path Computation :

Slack & Float (synonyms)

- Free Slack : Slack an activity has before it delays next task
- Total Slack : Slack an activity has before delaying whole project
- Slack Time  $TS = TL - TE$

– TE = earliest time an event can take place

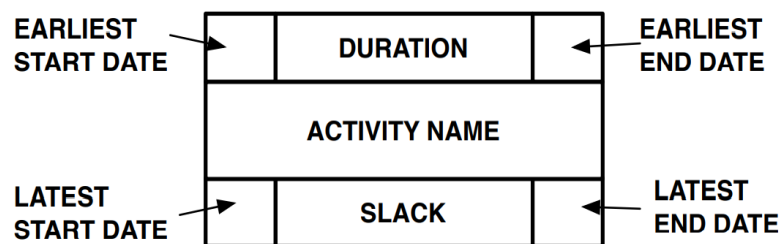
– TL = latest date it can occur w/o extending project's completion date or next activity

Goal: given a plan (activities, duration, and dependencies), determine Slack, Earliest and

Latest dates of each activity

الهدف من العملية : خطة (الأنشطة والمدة والتبعيات)، تحديد Slack ، Exercess و آخر تواريخ تنفيذ كل نشاط

• Notation: AON with nodes represented as follows:



\*A forward pass determines the earliest start and end dates of each activity in the plan

يحدد ال Forward pass أقرب تواريخ بدء ونهاية لكل نشاط في الخطة

• A backward pass determines the latest start and end dates of each activity in the plan

يحدد ال backward pass آخر تواريخ بدء ونهاية كل نشاط في الخطة

• The difference between earliest start (end) and latest start (end) is the slack of an activity

الفرق بين البداية المبكرة (النهاية) والبداية الأخيرة (النهاية) هو ال slack activity

• The critical path is the path in which all activities have zero slack

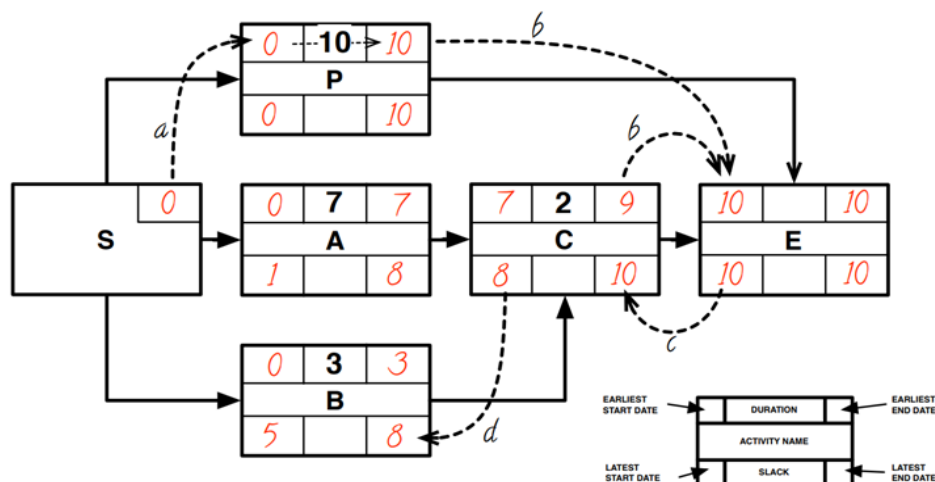
المسار الحرج هو المسار الذي لا تتوقف فيه جميع الأنشطة

• A plan always has a critical path... changing the plan changes what activities are in the critical path

الخطة لها دائماً مسار حرج... تغيير الخطة يغير الأنشطة في المسار الحرج



## Example 1



in Figure. Note that each node uses the notation introduced ,according to which the top boxes contain, respectively, the earliest start date, the

duration, and the earliest end date; the bottom boxes contain, respectively, the latest start date, the slack, and the latest end date.

The handwritten numbers are the results of the computations to find the critical path, while the dotted lines show the process We begin from the start node, S: we assign an earliest start date of 0 to each activity depending exclusively on the start node. The earliest end dates are then computed adding the duration to the earliest start date. See, for instance, the computation for P—dotted line marked “a” in Figure 3.10. If an activity has more than one predecessor, we take the highest earliest end date. Thus, in the example, the earliest start date of the end node (marked E in the diagram) is 10. See the dotted lines marked “b” in the diagram. We then repeat the process till we compute the earliest start and end dates of each activity.

في الشكل. لاحظ أن كل عقدة تستخدم الرمز الوارد في الشكل السابق، والذي بموجبه تحتوي الصناديق العلوية، على التوالي، على تاريخ البدء المبكر والمدة وتاريخ الانتهاء المبكر؛ تحتوي الصناديق السفلية، على التوالي، على آخر تاريخ بدء، والركود، وآخر تاريخ انتهاء.

الأرقام المكتوبة بخط اليد هي نتائج الحسابات للعثور على المسار الحرج، بينما توضح الخطوط المنقطة العملية نبدأ من عقدة البداية، S: نقوم بتعيين تاريخ بدء مبكر قدره 0 لكل نشاط اعتماداً حصرياً على عقدة البداية. ثم يتم حساب تواريخ النهاية المبكرة لإضافة المدة إلى تاريخ البدء المبكر. انظر، على سبيل المثال، حساب الخط المنقط P الذي يحمل علامة «a» في الشكل 3-10. إذا كان لنشاط ما أكثر من سلف واحد، فإننا نأخذ أعلى تاريخ انتهاء مبكر. وهكذا،

في المثال، فإن أقرب تاريخ لبدء العقدة النهائية (علامة E في الرسم البياني) هو 10. انظر الخطوط المنقطة التي تحمل علامة «ب» في الرسم البياني. ثم نكرر العملية حتى نحسب أقرب تواريخ بدء ونهاية لكل نشاط.

For the end node, the earliest end, latest start, and latest end are all set to the earliest start. We can now start the backward pass, propagating the latest dates from the end nodes to the start. In our plan, for instance, the latest end date of activity C is 10, namely, the latest start date of the only successor of C. See the dotted line marked "c "

بالنسبة للعقدة النهائية، تم تعيين النهاية المبكرة والبدء الأخيرة والنهاية الأخيرة في البداية المبكرة.

يمكننا الآن بدء ال backward pass ، ونشر آخر التواريخ من العقد النهائية إلى البداية. في خطتنا، على سبيل المثال، آخر تاريخ انتهاء للنشاط C هو 10، أي آخر تاريخ بدء للخليفة الوحيد لـ C. انظر الخط المنقط الذي يحمل علامة «c»

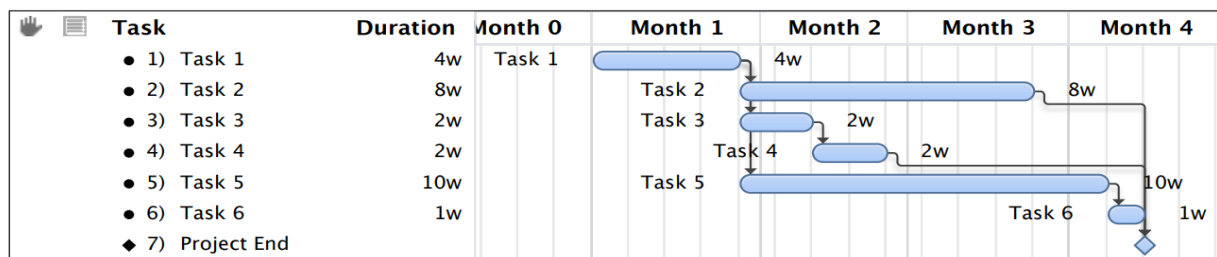
in Figure . The latest start date of an activity is given by subtracting the duration from its latest end date. This explains why the latest start date of C is 8, that is, the result of subtracting 2, the duration of C, from its latest end date, which is 10.

Once we complete the backward pass, we are now ready to compute the slack of the different activities. Thus, for instance, the slack of A is 1, while the slack of B is 5. There is only one path having all activities with zero slack. This is the path made by just one activity, namely, P. So the critical path of the plan is composed by P. Note that this is a peculiar case; in general, more than one activity will be in the critical path. We now know that any delay to P will cause the entire project to deliver late. During the execution phase, particular attention has to be dedicated to the activity

في الشكل. يتم تحديد آخر تاريخ لبدء النشاط عن طريق طرح المدة من تاريخ الانتهاء الأخير. هذا يفسر لماذا آخر تاريخ بدء لـ C هو 8، أي نتيجة طرح 2 (مدة C)، من تاريخ الانتهاء الأخير، وهو 10.

بمجرد أن نكمل ال backward pass ، نكون الآن على استعداد لحساب الركون (slack) في الأنشطة المختلفة. وهكذا، على سبيل المثال، فإن ركود A هو 1، في حين أن ركود B هو 5. هناك مسار واحد فقط لديه جميع الأنشطة بدون ركود. وهذا هو المسار الذي سلكه نشاط واحد فقط، أي P. لذا فإن المسار الحرج للخطة يتألف من P. لاحظ أن هذه حالة غريبة ؛ وبوجه عام، سيكون هناك أكثر من نشاط واحد في المسار الحاسم. نحن نعلم الآن أن أي تأخير في P سيؤدي إلى تأخر تنفيذ المشروع بأكمله. وخلال مرحلة التنفيذ، يتعين إعطاء اهتمام خاص لهذا النشاط.

## Example 2



### “Informal approach”

have a look at what activities can slide in a plan without moving the end date of a project (e.g. Task 3 is not in the critical path)

CPM highlighted automatically by many Gantt +charting tools

«النهج غير الرسمي»

إلقاء نظرة على الأنشطة التي يمكن أن تنزلق في خطة ما دون نقل تاريخ انتهاء المشروع (على سبيل المثال، المهمة 3 ليست في المسار الحرج)

• تم إبراز CPM تلقائياً بواسطة العديد من أدوات الرسم البياني + Gantt

### Critical Path Method Remarks

ملاحظات طريقة المسار الحرج

• Critical path refers just to duration and not to other characteristics such as risk or difficulty

المسار الحرج يشير فقط إلى المدة وليس إلى الخصائص الأخرى مثل المخاطر أو الصعوبات

• Activities which are not in the critical path can delay a plan, if the delay is long enough.

الأنشطة التي ليست في المسار الحرج يمكن أن تؤخر الخطة، إذا كان التأخير طويلاً بما فيه الكفاية

Watch out for (nearly) critical paths: a delay in an activity in a non critical path may make another path critical

• انتبه من المسارات الحرجة (تقريباً): قد يؤدي التأخير في نشاط ما في مسار غير حرج إلى جعل مسار آخر حرج

### Resource Allocation and Resource Leveling:

#### A (simplified) Process

- Inputs:

- the plan: activities, constraints, effort for each activity
- project team (number, types, and availability of resources)
- delivery dates (project constraints)

- Resource allocation:

- the process by which a resource is assigned to a task, that is, is tasked with carrying out part of the work (effort) defined in a task

- Constraints:

- according to availability and needs (e.g. the type of resource required for a given activity): no over-allocation (above maximum availability) (resource leveling)

- If no solution is found, if you may, variate some hypotheses (e.g. increase team size, relax constraints) and iterate

هنا ببقي انو العملية بشكل مبسط تتكون من :

- المدخلات:

-الخطة: الأنشطة والقيود والجهود المبذولة لكل نشاط

-فريق المشروع (عدد الموارد وأنواعها وتوافرها)

-تواريخ التنفيذ (قيود المشاريع)

- تخصيص الموارد:

-العملية التي يتم بها تكليف أحد الموارد بمهمة ما، أي:

مكلف بتنفيذ جزء من العمل (الجهود) المحدد في مهمة ما

- القيود:

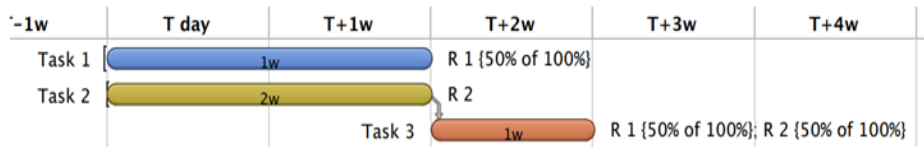
-حسب التوافر والاحتياجات (مثل نوع الموارد المطلوبة لنشاط معين): عدم الإفراط في التخصيص (فوق الحد الأقصى للتوافر)

- تسوية الموارد:

• إذا لم يتم العثور على حل، إذا جاز لك، قم بتغيير بعض الفرضيات

(مثل زيادة حجم الفريق، وتخفيف القيود) والتكرار

## Resource Allocation Examples



each slot: 1week

– R1 assigned to Task 1 at 50% of his time

R1 -مخصص للمهمة 1 بنسبة 50% من وقته

– R2 allocated full time to Task 2

-تم تخصيص R2 بدوام كامل للمهمة 2

– R1 and R2 allocated @ 50% of their time to Task 3

تخصيص R1 و R2 50% من وقتهم للمهمة 3

• What it means:

– R1 will work 20 hours on week 1 and 2 and 20 hours on week 3

R2 will work 40 hours on week 1 and 2 and 20 hours on week 3

ما يعنيه:-

-سيعمل R1 20 ساعة في الأسبوع 1 و 2 و 20 ساعة في الأسبوع 3

- سيعمل R2 40 ساعة في الأسبوع 1 و 2 و 20 ساعة في الأسبوع 3

## Resource Usage

استخدام الموارد

• For manpower: the amount of time each resource is needed at a given time

• For equipment: the number of items that are necessary at any given time

• For material: the amount of material which is required (consumed) at any given time

بالنسبة للقوى العاملة: مقدار الوقت اللازم لكل مورد في وقت معين

بالنسبة للمعدات: عدد الأصناف الضرورية في أي وقت من الأوقات

بالنسبة للمواد: كمية المواد المطلوبة (المستهلكة) في أي وقت من الأوقات

## How is it computed?

كيف يتم حسابها ؟

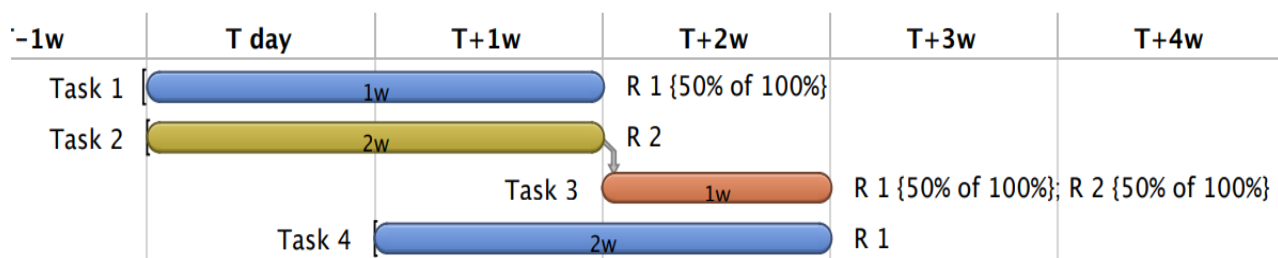
- Resource usage is computed by summing the amount of work required for any given period

يحسب استخدام الموارد بتجميع مقدار العمل المطلوب لأي فترة معينة

- That is a “vertical” sum over work assignments
- Overallocation: a situation in which a resource is used above his/her/its maximum capability

الإفراط في استخدام الموارد: حالة يستخدم فيها مورد ما فوق طاقته القصوى

## Example



زي م هو موضح الشكل بالنسبة للتاسك الأول يستغرق أسبوع من الزمن ويستخدم 50% من ال resource R1

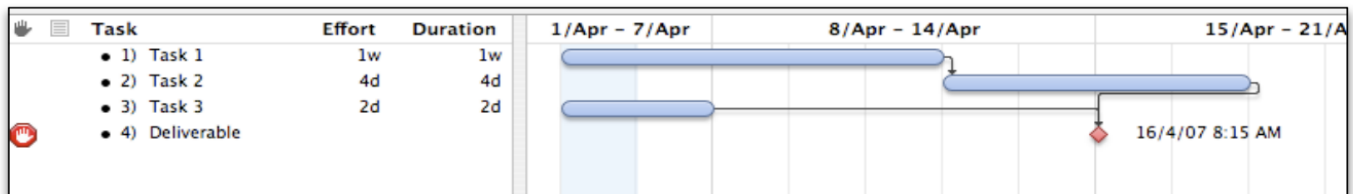
التاسك الثاني استهلك R2 كلها بينما التاسك الثالث استهلك 50% من R1 والتاسك الرابع استخدم R1 كلها

لواجينا نحسب استخدام R1 و R2 على التوالي :

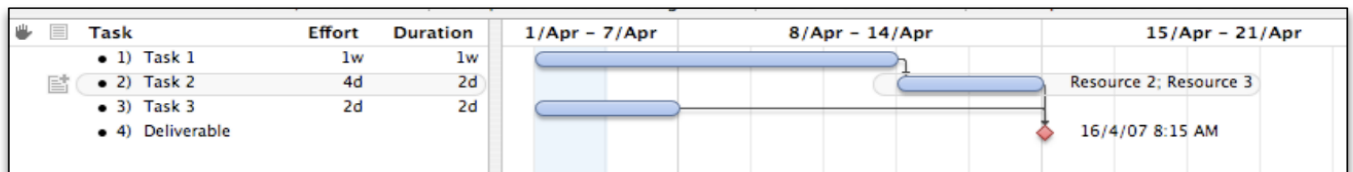
	hours	hours	hours	hours	hours
R1	20	20		T1	
			20	T3	
		40	40	T4	
Total R1	20	60	60		
R2	40	40		T2	
			20	T3	
Total R2	40	40	20		

من الجدول بنلاحظ انه R1 is over allocated in W2 (T+1w) and W3 (T+2w) كمان مثال اعقد شوية :

We draw the plan highlighting hard constraints. Deliverable has a unmovable delivery date



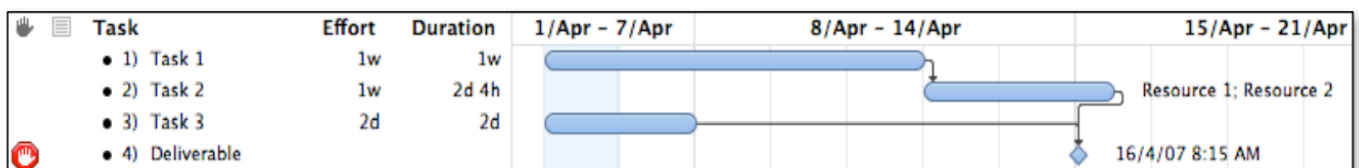
Allocating two resources to Task 2 allows to satisfy the constraints



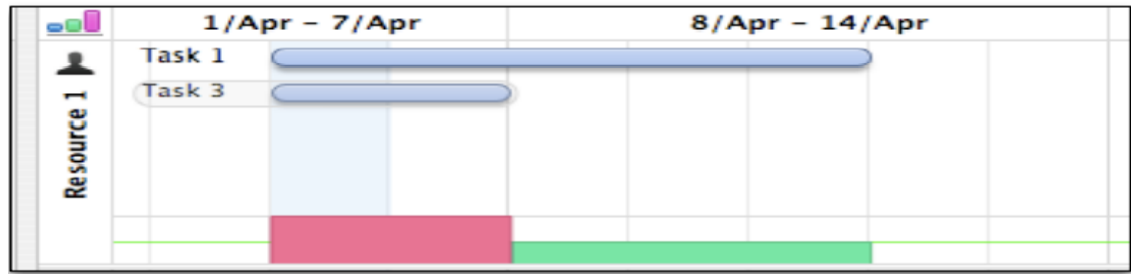
1/ رسمنا الخطة التي تسلط الضوء على القيود الصعبة. التسليم له تاريخ تسليم غير قابل للتغيير كما في الرسم الأول  
 2/ خصصنا موردين للمهمة 2 (resource 2,3) يسمح بتلبية القيود كما في الشكل الثاني  
 لحد هنا تمام طيب وين المشكلة ؟  
 المشكلة كالتالي :

**Problem: Task 1 and Task 3 require the same resources**

المشكلة عندي انه تاسك رقم 1 وتاسك رقم 3 بيحتاجوا نفس ال resources شوف الصورة :



هنا ال R1 عبارة عن Overallocating



طيب شو الحل هنا ؟

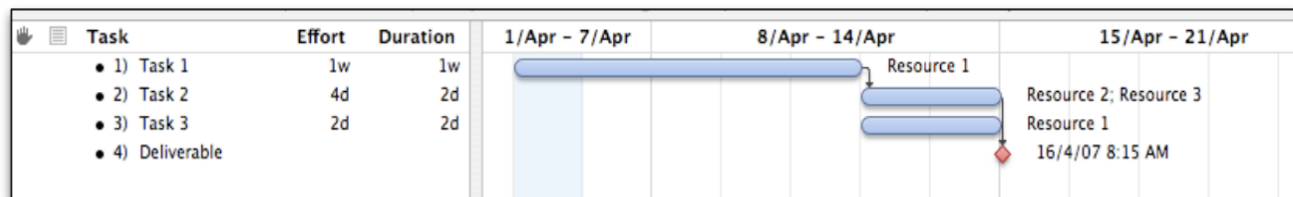
عندي حلين ممكن اعملهم :

**Solution 1. Resource leveling...** insert soft constraints in your plan so that no resource is over allocated (does not work above 100%)

تسوية الموارد... تدرج قيود Soft في خطتك بحيث لا يتم تخصيص أي مورد (لا يعمل فوق 100%)

**Solution 2. Compression techniques (in a few lessons)**

الحل 2. تقنيات الضغط (في عدد قليل من الدروس)



**Some considerations:**

- Resource 1 will work on the project full time.
- Resource 2 and Resource 3 needed just towards the end of the project (for Task 2)

بعض الاعتبارات:

• سيعمل المورد 1 في المشروع طوال الوقت.

• الحاجة إلى الموارد 2 والموارد 3 قرب نهاية المشروع مباشرة (بالنسبة للمهمة 2)