آلان تورينغ

في البحث عن بدايات الحاسوب والذكاء الاصطناعي



المحامي كيم كيونغ جين

الرجل الذي فتح آفاق الفكر لعصر جديد

تساءل آلان تورينغ عما يمكن للآلات أن تفعله قبل أن ينتشر استخدام الحواسيب على نطاق واسع. وقاده فضول طفولته إلى دراسة الرياضيات، وخلال الحرب فك مع زملائه شفرات الجيش الألماني. وبعد انتهاء الحرب، درس تصميم الحواسيب وأنماط الحياة. غير أن بريطانيا عاقبته لكونه مثلي الجنس. وتحمل حياته في طياتها السعي وراء المعرفة الجديدة وصورة مجتمع عجز عن حماية إنسان.

قسم تورينغ عملية الحساب التي يجريها الإنسان وفق قواعد معينة وفكر فيها خطوة بخطوة. ومن خلال تلك العملية، طرح مبدأ الآلة الشاملة القادرة على تنفيذ أنواع متعددة من العمليات الحسابية. وقد أصبحت الفكرة القائلة بأن ما تفعله الآلة يمكن تغييره عبر برنامج أساسًا لفهم الحواسيب اليوم.

كما بحث في إمكانية أن تتحاور الآلات مع البشر وتتعلم من خلال التجربة. ومع أن الذكاء الاصطناعي اليوم يمثل إنجازًا راكمه العديد من الباحثين معًا، فإن أسئلة تورينغ تعد إحدى نقاط انطلاقه. ويتتبع هذا الكتاب مسار حياته ليستعرض كيف نمت أفكاره ونظرته إلى الحساب والذكاء والحياة.

أعاد تورينغ التساؤل عن مبادئ الأمور المألوفة، وسعى إلى التحقق من إجاباتها بالرياضيات والتجربة. وهنا يكمن السبب في قراءتنا عنه. فنتعلم من شخص فتح آفاق

الفكر لعصر جديد ما يمكننا التفكير فيه على نحو جديد، متجاوزين مجرد تعلم التقنيات المتاحة بالفعل.

المحامي كيم كيونغ جين

فهرس المحتويات

الرجل الذي فتح آفاق الفكر لعصر جديد

الفصل 1. فضول الطفولة والتعلم الذاتي (1912~1926)

الفصل 2. مدرسة شيربورن ورحلة الـ 60 ميلاً بالدراجة (1926–1931)

الفصل 3. كريستوفر موركوم وطبيعة الروح (1928-1930)

الفصل 4: حرية كلية كينغز في كامبريدج (1931–1935)

الفصل 5: الأعداد القابلة للحساب وآلة تورينغ الشاملة (1935–1936)

الفصل 6. الدراسة في برينستون وآلة الأوراكل (1936–1938)

الفصل 7. دخول بليتشلي بارك وبداية حرب الشيفرات (1938–1940)

الفصل 8. تصميم آلة بومب لفك الشفرات ودورها الفعال (1939~1941)

الفصل 9. الكوخ 8، وإنيغما البحرية، والبانبوريزموس (1940–1942)

الفصل 10: التبادل التقني السري ومشروع ديلايلا (Delilah) (1942–1945)

الفصل 11: مختبر الفيزياء الوطني (NPL) وتصميم الحاسوب المبكر ACE (1945-1948)

الفصل 12. جامعة مانشستر وأول حاسوب ذي برنامج مخزن (1948–1951)

الفصل 13. اختبار تورينغ: هل يمكن للآلة أن تفكر؟ (1950)

الفصل 14. علم التشكل الحيوي: حل أنماط الحياة بالرياضيات (1951–1952)

الفصل 15. المحاكمة وتمييز الدولة (1952–1954)

الفصل 16. وفاة تورينغ ورد اعتباره المتأخر (بعد عام 1954)

الفصل 17. تاريخ الذكاء الاصطناعي وتطوره (من عقد 1950 إلى عقد 2020)

الفصل 18. الذكاء الاصطناعي في عام 2026 والمهام المتبقية

المراجع الرئيسية · السيرة والمصادر الأصلية

الفصل 1. فضول الطفولة والتعلم الذاتي (1912~1926)



الشكل 1. رسم توضيحي يصور تورينغ الصغير وهو يراقب النباتات.

نشأ آلان تورينغ بعيدًا عن والديه منذ أن كان في حوالي عامه الأول. ولأن مقر عمل والده كان في الهند، فقد عُهد بآلان إلى رعاية أسرة أخرى في بريطانيا، وكان يتواصل مع والديه بشكل أساسي عبر الرسائل. وبعد التحاقه بالمدرسة، كان يُنظر إليه غالبًا على أنه طفل غريب الأطوار. لم تكن طفولته برّاقة.

أصبح هذا الطفل لاحقًا عالم رياضيات فك شفرات، ويُعتبر أحد الذين وضعوا أسس علم الحاسوب. نعيش اليوم مع الحواسيب والهواتف الذكية والذكاء الاصطناعي، ويُعد آلان تورينغ واحدًا من أوائل الذين بحثوا بعمق في المبادئ التي تعمل بها هذه الآلات. يتناول هذا الفصل الفترة الممتدة من ولادة آلان في عام 1912 حتى دخوله المدرسة الثانوية في عام 1926. ونتتبع من خلال السجلات الباقية كيف نما فضول آلان وسط مشاعر العزلة بعيدًا عن والديه.

1.1. الولادة في لندن والتربية البديلة

وُلد آلان ماثيسون تورينغ في 23 يونيو 1912 في مايدا فيل بلندن، بريطانيا. وكان مكان ولادته مبنى يُدعى وارينغتون لودج، وهو المبنى الذي أصبح لاحقًا فندق كولونيد. وتوجد اليوم لوحة زرقاء مستديرة مثبتة على الجدار الخارجي لذلك المبنى. في بريطانيا، تُوضع مثل هذه اللوحات على المنازل التي وُلد فيها أو عاش فيها مشاهير، وتُعرف باسم اللوحة الزرقاء.

على الرغم من ولادة آلان في لندن، إلا أن مركز حياة أسرته كان في الهند. كان والده

يوليوس ماثيسون تورينغ (1873~1947) موظفًا حكوميًا بريطانيًا يعمل في الهند. في ذلك الوقت، كانت الهند خاضعة للحكم البريطاني، وكانت بريطانيا تختار مواطنين من بلادها وترسلهم كموظفين لإدارة الهند. وكانت المؤسسة المسؤولة عن ذلك هي الخدمة المدنية الهندية، المعروفة باختصارها الإنجليزي ICS. عمل يوليوس في مقاطعة مدراس الواقعة جنوب شرق الهند. أما المدينة الساحلية تشاترابور، التي أقام فيها والدا آلان، فتقع اليوم في ولاية أوديشا الهندية.

كانت عائلة والدته إثيل سارة تورينغ (1881~1976) وثيقة الصلة بالهند أيضًا. كان لقب سارة قبل الزواج هو ستوني، وكان والدها إدوارد والر ستوني يشغل منصب كبير المهندسين في سكك حديد مدراس. وكانت جذور عائلة ستوني تمتد إلى أيرلندا. تزوج يوليوس وسارة في 1 أكتوبر 1907 في إحدى كنائس دبلن بأيرلندا، وفي العام التالي 1908 رُزقا بابنهما الأول جون فيرير تورينغ. وكان آلان الابن الثاني، وهو أصغر من جون بأربع سنوات.

قرر يوليوس وسارة تربية أطفالهما في بريطانيا وليس في الهند. ويعود ذلك إلى اعتقادهما بأن الهند مكان قاسٍ لنشأة طفل صغير بسبب حرارة الطقس وتكرار انتشار الأمراض. كما كانت لديهما رغبة قوية في أن يدرس أطفالهما في مدارس بريطانية عريقة. ولهذا السبب، عادت سارة إلى بريطانيا لتلد آلان. ومع ذلك، بقي مكان عمل الأب في الهند. وعندما بلغ آلان حوالي عامه الأول، عاد الوالدان مرة أخرى إلى الهند، وبقي الشقيقان في بريطانيا.

كان المكان الذي عُهد فيه بالشقيقين هو بلدة سانت ليوناردز أون سي الساحلية في جنوب إنجلترا. وكان يوجد في تلك البلدة على طريق منحدر منزل كبير يُدعى باستون لودج، عاش فيه العقيد المتقاعد من الجيش وارد وزوجته. كما عاش في المنزل أطفال عائلة وارد ومربية ترعاهم. وتُعرف رعاية أسرة أخرى للأطفال نيابة عن والديهم بالتربية البديلة. نشأ آلان في هذا المنزل منذ حوالي عام 1913 حتى عام 1921، أي من سن عام واحد حتى سن التاسعة. وفي 23 يونيو 2012، بمناسبة الذكرى المئوية لميلاد آلان، وُضعت لوحة زرقاء على باستون لودج أيضًا.

كان الوالدان يحصلان على إجازة كل بضع سنوات لزيارة بريطانيا، ولم يكن الابنان يريان وجهيهما إلا في تلك الأوقات. وخلال بقية الوقت، كانت الرسائل هي الصلة الوحيدة التي تربط الوالدين بطفليهما. وكان على آلان أن يعتاد على قواعد بيت الآخرين قبل أن ينعم بحنان والديه. وعلى الرغم من وجود عدة أطفال في نفس المنزل، إلا أن آلان كان يفضل قضاء وقته وحيدًا يتأمل الأشياء بدلًا من اللعب والركض مع أقرانه. وكانت الأرقام والرموز والخرائط والحسابات هي وسائل لهوه.

تُروى عدة حكايات عن آلان خلال فترة إقامته في باستون لودج. أولها أنه تعلم القراءة والكتابة بسرعة فائقة. فوفقًا لما تركته والدته سارة من سجلات، تعلم آلان القراءة بمفرده في غضون 3 أسابيع تقريبًا باستخدام كتاب بعنوان 'القراءة بدون دموع' (Reading Without Tears). لقد كان طفلًا يستنبط القواعد بنفسه دون حاجة إلى من يعلمه كل شيء خطوة بخطوة.

كان لديه أيضًا إصرار عنيد على معرفة القصة حتى نهايتها. وحوالي عام 1918، حين كانت والدته في زيارة لبريطانيا، قرأت سارة بصوت عالٍ لآلان في باستون لودج كتاب جون بانيان 'رحلة الحاج'. وعندما ظهرت في منتصف الكتاب شروح دينية طويلة وجافة، تخطت سارة تلك الفقرة خلسة. لكن آلان غضب بشدة قائلًا إن مثل هذا الحذف يُفسد القصة بأكملها، وركض صاعدًا إلى غرفته. كان ينظر إلى القصة على أنها بنية متماسكة متصلة من البداية إلى النهاية، وإذا سقطت منها حتى قطعة واحدة اختل الكل.

وكان آلان يبتكر كلماته الخاصة أيضًا. في تلك البلدة الساحلية، كانت طيور النورس تتشاجر بصخب على الطعام، فصاغ آلان كلمة 'كواكلينغ' (quockling) ليصف ذلك الصوت. فكلما صادف شيئًا بلا اسم، أطلق عليه اسمًا بنفسه.

عندما عادت والدته إلى بريطانيا في عام 1921، شعرت بأن ابنها قد تغير. فالطفل الذي كان في السابق نشيطًا وثرثارًا قل كلامه، وأصبح طفلًا يقضي وقته غارقًا في التفكير بمفرده. ولعل قضاء وقت طويل بعيدًا عن والديه قد ترك أثرًا في نفسه الصغيرة. وفي ذلك العام، غادر آلان منزل عائلة وارد. وتُظهر رسائل طفولته ميله إلى البحث والاستكشاف بنفسه حول ما يثير فضوله.

1.2. بدايات الحياة المدرسية وفضول استثنائي

كانت أول مدرسة التحق بها آلان هي مدرسة سانت مايكل، الواقعة في 20 شارع تشارلز

ببلدة سانت ليوناردز أون سي. ودرس آلان في هذه المدرسة من عام 1918 إلى عام 1921، أي من سن السادسة إلى التاسعة. غالبًا ما كان آلان يبدو مشتت الذهن أثناء الدروس؛ لأنه كان يحل المسائل بطريقته الخاصة بدلًا من اتباع الطريقة التي يمليها المعلم تمامًا. ومع ذلك، لاحظت مديرة هذه المدرسة شيئًا استثنائيًا في آلان. فوفقًا لما روته والدته سارة، قالت المديرة إنها رأت أطفالًا أذكياء وأطفالًا مجتهدين من قبل، لكن آلان عبقري. لقد استخدمت كلمة 'عبقري' لوصف طفل لم يبلغ التاسعة من عمره بعد.

في يناير 1922، التحق آلان، الذي بلغ التاسعة من عمره، بمدرسة هازلهيرست في قرية فرانت بمقاطعة ساسكس. كانت هازلهيرست مدرسة إعدادية داخلية. والمدرسة الإعدادية في بريطانيا هي مدرسة يرتادها الطلاب قبل الالتحاق بالمدارس الثانوية الخاصة الكبرى، وكان الطلاب يغادرون منازلهم ليأكلوا ويناموا ويدرسوا في السكن الداخلي للمدرسة. وكان شقيقه جون يدرس في هذه المدرسة أيضًا؛ وعندما التحق آلان، كان جون في الصف الدراسي الأعلى، بينما كان آلان في الصف الأدنى. وأقام آلان في هذه المدرسة حتى ربيع عام 1926.

لم تكن درجات آلان في هازلهيرست ملفتة للنظر. ففي المواد التي كانت المدرسة توليها أهمية، مثل اللغات والأدب، كان مستواه عاديًا أو أفضل قليلًا. لكن الأمر كان يختلف تمامًا عندما ينغمس في موضوع يختاره بنفسه خارج إطار الكتب المدرسية؛ إذ كان آلان حينها ينهمك في أمر واحد دون أن يشعر بمرور الوقت.

وكان كتاب واحد هو ما فتح أمامه أحد تلك الموضوعات. ففي عام 1922، التقى آلان

البالغ من العمر عشر سنوات بكتاب 'عجائب الطبيعة التي يجب أن يعرفها كل طفل' (Natural Wonders Every Child Should Know) للكاتب الأمريكي إدوين تيني بروستر. شرح هذا الكتاب من منظور علمي كيف تولد الكائنات الحية وتنمو، وكيف يتحرك جسم الإنسان. واحتوى الكتاب على فكرة مفادها أن الحياة يمكن النظر إليها كنوع من الآلات التي تتحرك وفقًا لقوانين الطبيعة، وليس بفعل قوة غامضة. استغرق آلان تمامًا في قراءة هذا الكتاب. وفي وقت لاحق، تذكرت والدته سارة أن هذا الكتاب كان أول ما فتح عيني آلان على العلم.

يمكن التحقق مما كان آلان ينشغل به خارج نطاق الكتب المدرسية من خلال الرسائل التي أرسلها إلى والديه في الهند. ولا تزال هذه الرسائل محفوظة حتى اليوم في أرشيف كلية كينغز بجامعة كامبريدج في بريطانيا. ويتيح قراءة هذه الرسائل وفق ترتيب تواريخها إلقاء نظرة على ما كان يدور في عقل هذا المخترع الصغير.

كان أول ما يلفت الانتباه هو أدوات الكتابة. ففي أبريل 1923، كتب آلان البالغ من العمر عشر سنوات في رسالة عن قلم حبر سائل ابتكره بنفسه، حتى إنه رسم رسمًا توضيحيًا لكيفية تدفق الحبر نزولًا نحو سن القلم. وبين عامي 1923 و1924، كان يكتب رسائله بحبر صنعه بنفسه، واصفًا إياه بأنه 'حبر مسجل ببراءة اختراع'. كما أرسل رسمًا توضيحيًا يفكر فيه في كيفية تشابك الأجزاء داخل الآلة الكاتبة وحركتها.

وفي صيف وخريف عام 1924، استحوذت الجبال والخرائط على اهتمامه. توجد على الخرائط خطوط تصل بين النقاط ذات الارتفاع المتساوي، وتُسمى خطوط الكنتور.

وحسب آلان كيف يمكن قياس ارتفاع الجبل باستخدام خطوط الكنتور، وأرسل مع رسالته خريطتين كنتوريتين رسمهما بنفسه. وفي هذه الفترة تقريبًا، كتب أيضًا مرسلًا فكرة غريبة لدراجة يمكنها السير فوق الماء.

وبين سبتمبر 1924 ومارس 1925، تعمق اهتمامه بالكيمياء تعمقًا شديدًا. كتب آلان في رسالة عن كيفية تغير ثاني أكسيد الكربون في دم الإنسان، وألح على والديه لشراء أدوات تجارب معربًا عن رغبته في دراسة الكيمياء بمفرده. وكان ما أراده وعاء تقطير مصنوعًا من الفخار. والتقطير طريقة تقوم على غلي السائل ثم تبريد البخار الناتج لجمع المادة المطلوبة وحدها. كما كتب عدة رسائل عن قواعد التفاعلات الكيميائية والاستثناءات التي لا تتوافق مع تلك القواعد. وتُروى أيضًا حكاية عن إجرائه تجربة لاستخراج مادة تُدعى اليود عن طريق حرق أعشاب بحرية جمعها من الشاطئ.

وفي أكتوبر 1925، ابتكر فكرة جهاز لشحن بطارية تخزين عن طريق تدوير دواسات دراجة مثبتة في مكانها. وبطارية التخزين هي بطارية يمكن إعادة شحنها واستخدامها مرارًا. وكانت فكرته تقوم على تحويل قوة أرجل الإنسان إلى كهرباء.

لم تكن الرسائل تحتوي على قصص الاختراعات والتجارب فحسب، بل انغمس آلان في الشطرنج أيضًا. والشطرنج لعبة تقوم على البحث عن أفضل نقلة ضمن قواعد محددة. فلكل قطعة مسار محدد يمكنها التحرك فيه، وتحريك نقلة واحدة يغير مجرى الأمور التالية تباعًا. شارك آلان في مسابقة شطرنج مدرسية، وفي نوفمبر 1924 كتب عن مشاركته في تلك المسابقة على بطاقة بريدية أرسلها إلى والديه. كما شارك في جماعة

المناظرة بالمدرسة. وفي وقت لاحق، بحث تورينغ أيضًا في كيفية لعب الشطرنج باستخدام الحاسوب.

إذا تأملنا قلم الحبر السائل، والحبر، والآلة الكاتبة، والخرائط، والكيمياء، وبطارية التخزين، والشطرنج على التوالي، فقد يبدو اهتمام طفل في حوالي العاشرة من عمره مشتتًا في اتجاهات شتى. لكن هذه الاهتمامات تجمعها نقطة مشتركة. فكما يتضح من كتاباته في الرسائل عن مسار تدفق الحبر، وطريقة تشابك أجزاء الآلة الكاتبة، وقواعد التفاعلات الكيميائية واستثناءاتها، كان آلان يريد دائمًا معرفة المبادئ التي تجعل الأشياء تعمل. وكان البحث عن القواعد الكامنة وراء المظهر الخارجي هو الوجهة التي يتجه إليها فضول آلان.

1.3. عبقرية 'الحجر الخام'

الحجر الخام هو حجر كريم استُخرج لتوه من الأرض. سطحه متعرج وتغطيه الأتربة، بحيث لا يبدو للوهلة الأولى مختلفًا عن أي حجر عادي، لكنه إذا صُقل وهُذّب يسطع بالضياء من داخله. كان الصغير آلان تورينغ مثل هذا الحجر الخام. كان يبدو في أعين الآخرين طفلًا غريب الأطوار وغير بارع، لكن كانت تكمن في داخله قوة لفهم العالم بطريقته الخاصة.

ومما جعل آلان يبدو غير بارع أيضًا معايير المدارس في ذلك العصر. ففي ذلك الوقت، كانت المدارس الخاصة البريطانية تسعى إلى تنشئة طلاب يدرسون اللغتين اللاتينية

واليونانية والأدب القديم، ويلتزمون التزامًا صارمًا بقواعد الحياة الجماعية. وكانت العلوم والرياضيات تحظى بمكانة أدنى من ذلك. كما كانت الرياضات الجماعية مثل الهوكي والرجبي تحظى بأهمية بالغة. وهكذا كان ما يحبه آلان وما تعتبره المدرسة مهمًا متعارضين منذ البداية.

وفي الواقع، كان آلان بعيدًا كل البعد عن صورة الطالب المثالي التي كانت تنشدها المدرسة. كان خط يده متعرجًا يصعب تمييزه، وكان ضعيفًا في ترتيب أشيائه وتنظيمها. وكانت ممارسة الألعاب الرياضية التي يشارك فيها كثيرون أكثر صعوبة عليه، فلم يتمكن من التأقلم مع مثل هذه المباريات أو الميل إليها.

وتوجد لوحة باقية تجسد هذا المشهد بوضوح؛ وهي رسم بقلم الرصاص أبدعته والدته سارة في عام 1923. يظهر في الرسم أطفال يركضون في الملعب وراء كرة الهوكي، بينما ينحني آلان وحده على مسافة قصيرة من المباراة متأملًا زهرة أقحوان نابتة على الأرض. وقد عنونت سارة هذا الرسم باسم 'الهوكي، أو مراقبة نمو الأقحوان'. وحتى في عيني والدته، كان ابنها طفلًا يثير فضوله كيفية نمو الأزهار أكثر من اهتمامه بالكرة. وبعد نحو 30 عامًا، أجرى تورينغ عندما كبر دراسات رياضية حول الأشكال والتراتيب التي تتخذها الأوراق والأزهار أثناء نمو النباتات، وكانت زهرة الأقحوان إحدى النباتات التي تناولها في ذلك البحث.

وكان سبب تعثره في الدروس يكمن في طريقته في المذاكرة. كان آلان يكره حفظ الإجابات التي حددها الآخرون. وبدلًا من ذلك، كان يسعى للبدء من المبادئ الأكثر أساسية

والتوصل إلى الإجابة خطوة بخطوة بنفسه. ويُطلق أحيانًا على هذا الموقف اسم 'التفكير انطلاقًا من المبادئ الأولى'. وكانت هذه الطريقة تستغرق وقتًا طويلًا، وغالبًا ما اختلفت عن صيغة الحل التي يطلبها المعلم. ولذلك، كان يصطدم كثيرًا في المدرسة. ومع ذلك، فإن المبادئ التي استنبطها بنفسه ترسخت بقوة في ذهنه.

وتوجد قصة توضح كيف استُخدمت هذه الطريقة خارج الفصل الدراسي. حدث ذلك عندما خرج الصغير آلان في نزهة خلوية مع عائلته. راقب آلان النحل وهو يطير لفترة طويلة؛ فالنحل بعد أن يجمع الرحيق من الأزهار يطير في خط شبه مستقيم نحو خليته. راقب آلان الاتجاهات التي يطير فيها النحل من عدة مواقع، ثم وصل تلك الاتجاهات بخطوط؛ إذ ظن أن خلية النحل ستكون عند نقطة التقاء تلك الخطوط. وبالفعل وجد آلان عسلًا بريًا عند تلك النقطة، وأحضره لعائلته. وبينما رأى الكبار مجرد نحل يطير، رأى آلان نمطًا وقاعدة في حركة النحل، وحوّل تلك القاعدة إلى أشكال هندسية وحسابات ليصل إلى الحل.

وهنا يكمن السبب في أن آلان بدا مختلفًا عن الآخرين. فمعظم الأطفال يتعلمون الطرق التي يمليها عليهم الكبار ويتبعونها. أما آلان، فكان يثق بما تراه عيناه وبما يحلله عقله أكثر من ثقته بتفسيرات الكبار. وإذا لم تكن هناك كلمة تصف أمرًا ما ابتكر كلمة، وإذا لم تتوفر لديه أدوات التجارب كتب رسائل يطلب شراءها، وإذا راوده تساؤل بحث عن الكتب وقرأها بمفرده. فتسمية أصوات النوارس، ورسم مسار الحبر داخل القلم، وربط مسارات طيران النحل بخطوط، كلها نبعت من الدافع نفسه: الرغبة في معرفة الأسس العميقة لكيفية عمل هذا العالم.

بطبيعة الحال، كان الكبار الذين يربون طفلًا كهذا ويعلمونه يشعرون بقلق بالغ. وكانت والدته سارة شديدة القلق بشأن مدى قدرة ابنها على التكيف مع الحياة المدرسية. وبما أن نموذج الطالب الذي كانت تسعى المدرسة لتنشئته واهتمامات آلان كانا متعارضين، فقد كان لذلك القلق ما يبرره.

تحتفظ رسائل طفولته بملامح شغفه بمعرفة مبادئ الأشياء وسعيه لاختبارها وتجريبها بنفسه. وفي وقت لاحق، بحث تورينغ فيما إذا كان بالإمكان إجراء حسابات معينة بواسطة آلة، وهل يمكن للآلات أن تفكر. ويصعب تفسير هذه التساؤلات بمجرد عزلة طفولته أو بتجربة منفردة بعينها.

في سن الثالثة عشرة، اجتاز آلان اختبار القبول المشترك ليلتحق في عام 1926 بمدرسة شيربورن الواقعة في مقاطعة دورست بجنوب غرب إنجلترا. وكانت شيربورن مدرسة داخلية ذات تاريخ يمتد لعدة قرون. غادر آلان هازلهيرست متوجهًا إلى مدرسته الجديدة.

الفصل 2. مدرسة شيربورن ورحلة الـ 60 ميلاً بالدراجة (1926–1931)



الشكل 2. إعادة تمثيل لرحلة الذهاب إلى مدرسة شيربورن بالدراجة.

في ربيع عام 1926، كان آلان تورينغ البالغ من العمر 13 عاماً يستعد للالتحاق بمدرسته الجديدة. كانت تلك مدرسة شيربورن الواقعة في مدينة شيربورن الصغيرة بمقاطعة دورست في جنوب غرب بريطانيا. وكانت مدرسة شيربورن مدرسة داخلية ذات تاريخ يمتد لمئات السنين، حيث كان الطلاب يأكلون وينامون ويدرسون في مساكن المدرسة الداخلية. وكان المسكن الداخلي الذي سيقيم فيه آلان هو وستكوت هاوس.

تُسمى مثل هذه المدارس في بريطانيا باسم "المدرسة العامة". ورغم أن الاسم قد يوحي بأنها مدرسة حكومية يرتادها أي شخص، إلا أنها في الواقع مدرسة داخلية خاصة باهظة المصاريف. وفي ذلك الوقت، كانت المدارس العامة تُعتبر مكاناً لتنشئة الكفاءات التي ستقود البلاد والإمبراطورية. وكان الطلاب يتعلمون اللاتينية واليونانية، ويدرسون الشعر القديم والتاريخ، ويكتسبون القواعد والآداب من خلال ممارسة الرياضات الجماعية مثل الرغبي والكريكيت. وكان هناك توجه قوي يعتبر الرياضيات والعلوم مواد أدنى درجة من هذه الدراسات.

أمضى آلان وقته في هذه المدرسة من مايو 1926 إلى يوليو 1931. وكان طالباً يفحص كل شيء بنفسه من البداية بدلاً من الاكتفاء باتباع طريقة الحل التي يوضحها المعلم، ولذلك كان يصطدم بالمعلمين كثيراً. ومع ذلك، ففي هذه الفترة تحديداً، درس آلان نظرية النسبية لأينشتاين بمفرده، وأرسى جذور التفكير التي ستشكل الأساس لنشأته كعالم رياضيات في المستقبل. وقد بدأت السنوات الـ 5 التي قضاها في شيربورن بدراجة هوائية واحدة.

2.1. الإضراب العام والذهاب إلى المدرسة بالدراجة

في ذلك الوقت، كان والدا آلان يعيشان في فرنسا. وكان من المقرر أن يبدأ الفصل الدراسي الجديد في مدرسة شيربورن في 4 مايو 1926. واستقل آلان السفينة بمفرده من ميناء سان مالو في فرنسا وعبر القناة الإنجليزية ليصل إلى مدينة ساوثهامبتون الساحلية في جنوب بريطانيا. ووفقاً للخطة الأصلية، كان عليه أن يستقل القطار من هناك متوجهاً إلى شيربورن.

ولكن في ذلك اليوم، كانت بريطانيا بأسرها في حالة توقف تام؛ ذلك لأن الإضراب العام في بريطانيا قد بدأ في 4 مايو 1926. وكانت مناجم الفحم هي نقطة انطلاق الإضراب. فعندما حاول أصحاب مناجم الفحم خفض أجور عمال المناجم وزيادة ساعات عملهم، واجههم عمال المناجم، ووقف عمال القطاعات الأخرى إلى جانب عمال المناجم وتوقفوا عن العمل معاً. ولم يذهب عدد لا يحصى من الأشخاص إلى أماكن عملهم، بما في ذلك عمال السكك الحديدية وسائقو الحافلات وعمال الموانئ وعمال الطباعة. وتوقفت القطارات ولم تصدر الصحف بصورة طبيعية. واستمر هذا الإضراب لمدة 9 أيام حتى 12 مايو.

وبما أن القطارات لم تكن تعمل، لم تكن هناك وسيلة مناسبة للذهاب إلى شيربورن. وتبلغ المسافة من ساوثهامبتون إلى شيربورن حوالي 60 ميلاً. وقد وردت في السجلات باختلافات طفيفة مثل 60 ميلاً، أو 63 ميلاً، أو 65 ميلاً. ولأن الميل الواحد يعادل

حوالي 1.6 كم، فإنها مسافة تقارب 100 كم، وهي تشبه المسافة من سيول إلى تشونان. وتعتبر هذه مسافة شاقة حتى على شخص بالغ ليقطعها بالدراجة في يوم واحد.

انتظر العديد من الطلاب في منازلهم حتى انتهاء الإضراب. لكن آلان اختار طريقاً آخر، حيث قرر الذهاب إلى المدرسة بالدراجة. وكتبت والدته سارة تورينغ عن هذا الأمر بالتفصيل لاحقاً أثناء كتابتها لسيرة ابنها. وبحسب تلك السجلات، فبمجرد نزول آلان في ساوثهامبتون وقت الظهيرة تقريباً، أرسل أولاً برقية إلى مشرف المسكن الداخلي، المعلم جيفري أوهانلون، يخبره فيها بأنه سيصل في اليوم التالي. ثم شحن حقيبة أمتعته الكبيرة بشكل منفصل، وحمل خريطة واحدة، وركب دراجته. وكانت هذه طريقاً يسلكها آلان للمرة الأولى.

قطع آلان هذه الطريق على مدى يومين؛ وذلك لأن والدته عندما أخبرها بأنه سيذهب بالدراجة حثته على ألا يقطع مسافة الـ 60 ميلاً كلها في يوم واحد. فقد كانت الأم قلقة من احتمال اضطرار ابنها للذهاب إلى الحصص في وقت مبكر من صباح اليوم التالي. وعمل آلان بنصيحتها، فبات ليلة في فندق كراون في بلاندفورد في منتصف الطريق. ولم تتجاوز تكلفة العشاء والمبيت والإفطار معاً 6 شلنات، وفي صباح اليوم التالي خرج جميع موظفي الفندق لتوديعه. ويبدو أن رؤية فتى يبلغ من العمر 13 عاماً قادماً بمفرده على دراجة قاطعاً طريقاً غريباً بدت أمراً يدعو للدهشة في أعين العاملين في الفندق. وقد دوّن آلان هذه الواقعة في رسالة بعث بها إلى والديه.

وصل آلان إلى مدرسة شيربورن في 5 مايو 1926. ونُشرت قصة قدومه إلى المدرسة

بالدراجة في الصحيفة المحلية أيضاً.

تُظهر هذه الرحلة بوضوح نوعية الشخص الذي كان عليه آلان. فهو لم يتوقف لمجرد أن الطريق كان مسدوداً. بل فتح الخريطة، وقدر المسافة، وحدد مكاناً للاستراحة ليلة واحدة، وضغط على الدواسات بساقيه. وهذا الموقف المتمثل في البحث عن طريقته الخاصة بنفسه عندما لا توجد طريقة محددة كان السمة التي لازمته طوال حياته. كما كانت ساقاه القويتان رصيداً قيماً له طوال حياته أيضاً. وبعد أن أصبح بالغاً، شغف آلان بالركض لمسافات طويلة، واكتسب مهارة في الماراثون مكنته من المنافسة على الانضمام إلى الفريق الأولمبي.

وظلت رحلة الدراجة هذه محفورة في الذاكرة لفترة طويلة داخل المدرسة وخارجها. ووفقاً لسجلات والدته، فبعد عام أو عامين عندما تدهورت درجات آلان إلى الحضيض، حاول المشرف البحث عن نقطة تستحق الثناء فقال إنه على الرغم من ذلك فإن هذا الفتى جاء إلى هنا راكباً دراجته. وبعد مرور 100 عام بالتمام والكمال، في مايو 2026، أعاد طلاب ومعلمو المدارس في منطقة شيربورن محاكاة رحلة آلان. فركبوا دراجاتهم قاطعين مسافة 100 كم من ساوثهامبتون إلى شيربورن، ووصلوا إلى شيربورن في تمام الساعة 6 مساء يوم 5 مايو، واحتفلوا بهذا اليوم من خلال مسيرة صغيرة في شوارع وسط المدينة.

2.2. الاحتكاك بين التعليم الكلاسيكي والتعلم الذاتي للعلوم

لم يكن تقرير الدرجات الذي حصل عليه في أول فصل دراسي في شيربورن سيئاً. فقد وصف المشرف المعلم أوهانلون آلان بأنه صبي مبتكر ومثير للاهتمام للغاية، وأضاف مدير المدرسة نويل سميث أنها بداية مرضية للغاية. وفي سجلات أخرى من الفترة نفسها، هناك تقييم يشير إلى أن آلان كان يفضل البقاء بمفرده. ورأى المعلم أن السبب في ذلك لا يرجع إلى قتامة في شخصيته، بل لكونه شديد الخجل.

ومع مرور الوقت، بدأت المشكلات تظهر واحدة تلو الأخرى. كانت الدروس في شيربورن تتمحور حول اللاتينية واليونانية. واللاتينية هي اللغة التي كان يستخدمها الرومان القدماء، بينما اليونانية هي لغة الإغريق القدماء. وكان الطلاب يحفظون قواعد اللغتين، ويترجمون الشعر والخطب القديمة، ويؤلفون جملاً باللاتينية بأنفسهم. لم يجد آلان أي متعة في حفظ القواعد النحوية التي وضعها الآخرون، وكثيراً ما كانت درجاته في مادتي اللاتينية واللغة الإنجليزية تقترب من المرتبة الأخيرة في الفصل. وكان خط يده يصعب تمييزه، وكانت دفاتره ملطخة ببقع الحبر. وانتقد المعلمون مراراً وتكراراً دفاتره غير المرتبة وعاداته الحياتية غير المنظمة.

وحدث الاحتكاك حتى في المواد التي كان آلان يحبها. كان آلان يحب الرياضيات، لكنه لم يكن يحل المسائل وفق الطريقة الموضحة في الكتب المدرسية. وعندما كان يتلقى مسألة، كان يبدأ بفحص ما تطرحه وتطلبه المسألة أولاً، ثم يجد الإجابة بالطريقة التي

ابتكرها بنفسه. وحتى لو كانت الإجابة صحيحة، كان المعلمون يترددون في منحه درجات عالية بدعوى أن الحل لم يكن وفق الطريقة المحددة. وفي مختبر الكيمياء أيضاً، كان يستغرق في تجارب ابتكرها بنفسه بدلاً من التجارب التي كلفه بها المعلم، مما عرضه للتنبيه وتلقي الملاحظات.

نظرت المدرسة إلى آلان بقلق، وأرسل مدير المدرسة رسالة إلى والدي آلان. وتضمنت هذه الرسالة، التي أوردها أندرو هودجز الذي كتب سيرة آلان تورينغ، هذا المحتوى: "آمل ألا يسقط بين كرسيين. فإذا أراد البقاء في المدرسة العامة، يجب أن يجعل هدفه أن يصبح شخصاً مثقفاً. أما إذا كان يقتصر على الرغبة في أن يصبح متخصصاً في العلوم فقط، فإنه يضيع وقته في المدرسة العامة".

وعبارة السقوط بين كرسيين هي مثل إنجليزي يعني أن يحاول المرء الإمساك بأمرين معاً فينتهي به الأمر إلى فقدانهما كلاهما. وكان الشخص المثقف الذي قصده مدير المدرسة هو الجنتلمان الذي يستطيع قراءة الشعر اللاتيني والاستشهاد بالنصوص الكلاسيكية. ومن هذا المنظور، كان آلان، الذي لا يتعمق إلا في الرياضيات والعلوم، طالباً نصف مكتمل. ولم يطوع آلان نفسه للصورة التي أرادتها المدرسة. ومع ذلك، لم يدخل في نزاع كبير مع المدرسة أيضاً. وكان يعود بهدوء، بعد انتهاء الدروس، إلى الدراسات التي يحبها.

وكانت تلك الدراسات متقدمة بمراحل عن الدروس المدرسية. ففي عام 1927، كان آلان لم يتعلم بعد حتى مبادئ حساب التفاضل والتكامل في المدرسة. وحساب التفاضل والتكامل هو مجال من مجالات الرياضيات يحسب قيماً مثل سرعة تغير كمية معينة،

والمساحة التي يحيط بها منحنى ما. ومع ذلك، فقد حل مسائل رياضية معقدة بمفرده. بل وتوصل بنفسه إلى صيغة للتعبير عن قيمة معينة في صورة جمع مستمر لا نهاية له. وكان ذلك محتوى لا يتناوله في العادة إلا من درس التفاضل والتكامل في الجامعة.

وقرابة سن الـ 15، بدأ يدرس بمفرده نظرية النسبية لألبرت أينشتاين. ونظرية النسبية هي نظرية نشرها أينشتاين في عامي 1905 و1915، وتتضمن فكرة أن الزمان والمكان يمكن أن يتغيرا وفقاً لحركة المراقب. وكانت نظرية يهز أساتذة الجامعات في ذلك الوقت رؤوسهم لصعوبتها. ولم يقتصر آلان على قراءة كتابات أينشتاين وفهم محتواها فحسب، بل استنبط حتى النقاط التي لم تكن مدونة بوضوح في الكتاب؛ حيث أدرك بنفسه حقيقة أن أينشتاين كان يشكك في قوانين نيوتن للحركة، والتي ظلت أساس علم الفيزياء لأكثر من 200 عام.

أراد آلان مشاركة ما فهمه مع والدته. وعندما بلغ سن الـ 15 والنصف، رتب نظرية النسبية فصلاً فصلاً في دفتر ملاحظات صغير بغلاف أحمر. وكان العنوان "ملخص لنظرية النسبية لألبرت أينشتاين"، وجاء في 31 صفحة. وأهدى آلان هذا الدفتر لوالدته. ولم يتضمن الدفتر محتوى نظرية النسبية فحسب، بل احتوى أيضاً على رؤى آلان حول الترتيب والنهج الفكري الذي يجب اتباعه لقراءة هذه النظرية. ولا يزال هذا الدفتر محفوظاً حتى اليوم في أرشيف كينجز كوليدج في جامعة كامبريدج.

ولم يتوقف اهتمام آلان عند نظرية النسبية. فقد قرأ كتاب "طبيعة العالم الفيزيائي" الذي نشره عالم الفلك البريطاني آرثر إدينغتون في عام 1928. وإدينغتون هو العالم الذي وجد

دليلاً على صحة نظرية أينشتاين من خلال رصد كسوف الشمس في عام 1919. ومن خلال هذا الكتاب، تعرف آلان على ميكانيكا الكم. وميكانيكا الكم هي فرع جديد من الفيزياء يفسر كيفية حركة المادة في عوالم متناهية الصغر مثل الذرة. وقرابة عام 1929، كتب آلان في رسالة إلى والديه أنه يرغب في البحث عن مقالات الفيزيائي النمساوي إروين شرودنغر حول نظرية الكم ومعادلة الموجة لقراءتها. لقد كان طالباً في سن الـ 17 يسعى لقراءة أكثر أبحاث الفيزياء تقدماً في ذلك العصر بصورة مباشرة.

ومع دراسته لنظرية النسبية وميكانيكا الكم، تشكلت لدى آلان تساؤلات عميقة. وكانت تساؤلات من قبيل: هل يتحرك العالم وفق قوانين ثابتة ومحددة فقط؟ وما هي العلاقة بين المادة والعقل؟ وما هي المبادئ الرياضية التي تحرك أجسادنا وأفكارنا؟ وقد قادت هذه التساؤلات لاحقاً إلى الطريق الذي تخيل فيه آلان آلات قادرة على التفكير.

2.3. تشكل الفكر المستقل

ولم تكن حياة آلان المدرسية منعزلة أو متمردة فحسب لمجرد أنه كان يصطدم بالمعلمين كثيراً. فقد شارك آلان في مختلف أنشطة المدرسة بطريقته الخاصة، وأخذ يجد مكانته تدريجياً داخل مجتمع المدرسة.

وتظهر هذه الملامح منذ السجلات الأولى لالتحاقه بالمدرسة. فبعد انضمامه إلى شيربورن، أنشد آلان في جوقة كنيسة المدرسة طوال الفصول الدراسية الـ 3 الأولى. وكان الصوت الموكل إليه هو طبقة 'التريبل' (Treble)، وهي طبقة صوتية عالية يؤديها

الفتيان قبل مرحلة تغير الصوت. وشارك أيضاً في الحفلات الموسيقية المدرسية، حيث لا يزال اسم آلان مدوناً كعضو في طبقة التريبل على المسرح في برنامج الحفل الموسيقي الذي أقيم في 20 ديسمبر 1926. وفي 7 نوفمبر 1927، نال سر التثبيت في كنيسة المدرسة. وسر التثبيت هو طقس يؤكد فيه المؤمن المسيحي إيمانه بنفسه. وهكذا، فإن آلان، الذي بدا وكأنه لا ينغمس إلا في الرياضيات والعلوم، عاش كعضو فاعل في المدرسة من خلال الإنشاد في الكنيسة والمشاركة في الطقوس المدرسية.

وفي الرياضة، كانت تفضيلاته واضحة ومحددة. لم يكن آلان يستمتع بالرياضات الجماعية مثل الرغبي أو الكريكيت، بل كان يفضل الرياضات الفردية مثل الغولف والركض لمسافات طويلة. ومع ذلك، فقد مثل مسكنه وشارك مرتين في مباريات الرغبي التنافسية بين المساكن الداخلية وأدى ما كان مطلوباً منه.

وقرابة عام 1928، توطدت علاقة آلان بكريستوفر موركوم، الذي كان يكبره بصف دراسي واحد. وتبادل الاثنان الأحاديث حول العلوم والرياضيات وتركا أثراً كبيراً في بعضهما البعض. وكان موركوم أول صديق يفتح له آلان قلبه بعمق. ولكن موركوم توفي فجأة في فبراير 1930.

وعندما أصبح طالباً في الصفوف العليا، تردد آلان على مكتبة المدرسة بانتظام. ومن أكتوبر 1928 إلى مايو 1931، استعار 33 كتاباً من المكتبة، لم يكن من بينها سوى 3 روايات فقط. وفي 4 نوفمبر 1930، استعار 3 كتب دفعة واحدة للويس كارول، مؤلف "أليس في بلاد العجائب". وكان لويس كارول كاتباً لقصص الأطفال وعالم رياضيات

أجرى أبحاثاً في المنطق والرياضيات معاً.

في تلك الفترة، لم يقتصر آلان على الدراسة بمفرده، بل وسع نطاق أدواره داخل المدرسة أيضاً. فكثيراً ما كان يساعد الطلاب الآخرين في واجباتهم المدرسية في الرياضيات، ونظر المشرف إلى هذا السلوك بعين الرضا. وفي الفصل الدراسي لخريف عام 1930، أصبح عضواً في لجنة النظام والقيادة المدرسية. وعضو هذه اللجنة هو طالب من الصفوف العليا يسهر على حفظ النظام في المدرسة ويوجه الطلاب الأصغر سناً. وفي الفصل الدراسي نفسه، انضم إلى منتدى نقاش طلابي يسمى "ذا دافرز" (The Duffers) وقدم ورقة بعنوان "عوالم أخرى". كما شارك في نشاط المجموعة العلمية "جمعية الخيمياء".

وتخرج هذا الطالب، الذي لم يكن يتبع الحلول المعيارية أثناء الدروس، بعد أن حصد جميع جوائز الرياضيات والعلوم في المدرسة تقريباً. وفيما يلي تفاصيل الجوائز التي نالها آلان وفقاً لسجلات مدرسة شيربورن:

عام 1926: جائزة كيربي للرياضيات للمرحلة الدنيا
عام 1927: جائزة ليون للامتحانات
عام 1928: جائزة بلومبتري للرياضيات للمرحلة المتوسطة
عاما 1930 و1931: جائزة ديغبي للرياضيات والعلوم
عاما 1930 و1931: جائزة كريستوفر موركوم للعلوم الطبيعية
عام 1931: ميدالية الملك للرياضيات

عام 1931: منحة غودمان للتخرج من وستكوت هاوس

ومن بين هذه الجوائز، كانت جائزة كريستوفر موركوم للعلوم الطبيعية جائزة استحدثتها عائلة موركوم تخليداً لذكراه بعد وفاته. وقد نال آلان هذه الجائزة لعامين متتاليين.

تخرج آلان من مدرسة شيربورن في يوليو 1931. وكان تقييم المدرسة له، والتي كانت قلقة بشأنه قبل بضع سنوات، قد تغير تغيراً جذرياً. ففي بطاقة التقرير النهائي، وصف مدير المدرسة تشارلز بوي (Charles Boughey) آلان بأنه صبي متميز الموهبة ورائع، وكتب أنه سيتابع المسار الذي سيسلكه في المستقبل باهتمام بالغ. وأشاد بآلان لكونه دمث الخلق ولطيفاً، ولأدائه دور عضو لجنة النظام المدرسية بصورة ممتازة.

كما أرسل المشرف المعلم أوهانلون، الذي تابع آلان عن قرب طوال 5 سنوات، رسالة أيضاً. وكتب معرباً عن امتنانه للمساعدة والإخلاص اللذين أظهرهما آلان، وللمتعة التي أضفاها طوال فترة إقامتهما المشتركة. وأكد بكل ثقة أن اسم تورينغ سيظل محفوراً في الذاكرة طويلاً ما دام الجيل الحالي على قيد الحياة.

وبعد مرور السنين، وتحديداً في عام 1966، أطلقت مدرسة شيربورن اسم "مختبر آلان تورينغ" على مبنى العلوم الذي تمت توسعته حديثاً. ووفقاً لسجلات مدرسة شيربورن، كان هذا أول مبنى في العالم يسمى تيمناً باسم آلان تورينغ. واليوم، أصبح اسم تورينغ اسماً مألوفاً لكل من يدرس علوم الحاسوب والذكاء الاصطناعي.

لم تكن السنوات الـ 5 التي قضاها آلان في شيربورن فترة يسيرة عليه. فقد أرادت المدرسة رجلاً مهذباً يجيد اللاتينية، بينما أراد آلان أن يتفحص مبادئ الرياضيات والعلوم بنفسه من البداية. وبين هذين المطلبين، تعرض آلان للتوبيخ، وحصل على درجات متدنية، وقيل عنه إنه فتى غريب الأطوار. ومع ذلك، لم يتخل عن نهجه الفكري؛ فقرأ كتب أينشتاين وإدينغتون بمفرده، وأنشد في الجوقة، وساعد أصدقاءه في حل واجباتهم المدرسية، وحصد جوائز عديدة في مجالي الرياضيات والعلوم. وذلك الفتى الذي قطع 60 ميلاً بمفرده بالدراجة ليصل إلى المدرسة غادرها بعد 5 سنوات وقد غدا شاباً يمتلك أسلوبه الخاص في التفكير. وفي أكتوبر 1931، التحق آلان بكينجز كوليدج في جامعة كامبريدج ليبدأ خطوة جديدة كعالم رياضيات.

الفصل 3. كريستوفر موركوم وطبيعة الروح (1928-1930)



الشكل 3: إعادة تمثيل لتورينغ وموركوم أثناء دراستهما معا.

كان آلان تورينغ، أثناء دراسته في مدرسة شيربورن، يقضي الكثير من وقته بمفرده. وكان يسرح بأفكاره في حصص اللاتينية واليونانية، ويحل المسائل الرياضية بطريقته الخاصة دون اتباع الأساليب الموضحة في الكتب المدرسية. ورأى فيه المعلمون طالبا عنيدا ومشتت الذهن، كما لم يستوعب زملاؤه سبب شغفه الشديد بالمواد الكيميائية والحديث عن المجموعات النجمية. ونادرا ما وجد تورينغ شخصا يشاركه بحرية ما يدور في ذهنه من أفكار.

في خريف عام 1928، وكان تورينغ في السادسة عشرة من عمره، ظهر فتى أمامه. لم تدم الفترة التي قضاها الاثنان معا سوى أقل من عام ونصف. ومع ذلك، غير هذا اللقاء القصير والفراق المفاجئ حياة تورينغ تغييرا كبيرا. ففي هذه الفترة تحديدا، بدأ السؤال الذي رافق تورينغ طوال حياته: ما هو العقل البشري، وكيف يرتبط العقل بالجسد؟

3.1. اللقاء مع رفيق الروح

كان اسم ذلك الفتى كريستوفر كولان موركوم (Christopher Collan Morcom). ولد موركوم في 13 يوليو 1911 في "ذا كلوك هاوس" (The Clock House) في فوكبري بمقاطعة وركسترشاير الإنجليزية. وكان يكبر تورينغ بعام واحد ويسبقه بصف دراسي واحد. وكانت عائلة موركوم ذات صلة وثيقة بالعلم. إذ كان والده ريجينالد موركوم مهندسا يدير شركة للآلات، بينما كان جده لأمه جوزيف سوان شخصية شهيرة بصفته أحد العلماء الذين طوروا المصباح المتوهج. كما حصل شقيقه الأكبر روبرت على جائزة الرياضيات في مدرسة شيربورن قبل أن يلتحق بكلية ترينيتي في جامعة

كامبريدج.

التحق موركوم بمدرسة شيربورن في مايو 1925 كطالب حاصل على منحة دراسية، وأقام في نزل داخلي يسمى "لايون هاوس". وكان ذلك نزلا مختلفا عن "وستكوت هاوس" الذي كان يقيم فيه تورينغ. تفوق موركوم في الرياضيات والعلوم، وكانت معرفته بعلم الفلك استثنائية. وفي المساء، كان يحمل تلسكوبا إلى غرفته في النزل لمراقبة النجوم، ورسم خرائط النجوم الخاصة به استنادا إلى تلك الملاحظات. كما كان يحب التقاط الصور الفوتوغرافية والاستماع إلى الموسيقى.

لم يكن طالبا يقتصر اهتمامه على الدراسة فحسب؛ فقد كان موركوم كثير المزاح واللعب أيضا، ففي الفصل الدراسي الشتوي لعام 1928، ملأ عدة بالونات بالغاز وربط بها فتائل مصنوعة من خيوط مشمعة وأطلقها في مهب الريح. وفي إحدى المرات، التقط سرا صورة فوتوغرافية لمعلم أثناء الحصة وقدمها له كهدية، ولم يعد المعلم ذلك تصرفا وقحا، بل تقبله كعلامة على الاحترام.

ولكن كان لدى موركوم قلق خفي لا يعلمه الآخرون؛ فقد شرب في طفولته حليب بقر ملوثا بالبكتيريا وأصيب بالسل البقري. والسل البقري هو نوع من السل ينتقل من الأبقار إلى البشر. ومنذ ذلك الحين، قامت عائلة موركوم بتربية الماعز بدلا من الأبقار للحصول على الحليب. وحتى في عامه الأول في شيربورن، خضع موركوم لعملية جراحية كبرى وانقطع عن المدرسة لفصلين دراسيين. ومع ذلك، سرعان ما استدرك ما فاته في دراسته ونال جائزة الرياضيات في عام 1927.

تقارب تورينغ وموركوم في سبتمبر 1928. في ذلك الوقت، انتقل تورينغ إلى الصف السادس الأدنى (Lower Sixth) لدراسة الرياضيات والعلوم، وبدأ يحضر الحصص نفسها مع موركوم. وكان ما جمع بينهما سؤالا واحدا حول مدارات الكواكب. واستمر هذا النقاش حتى خلال فترات الاستراحة في مباريات كرة القدم، كما صب الاثنان اهتمامهما المشترك على التجارب الكيميائية. ولم تكن هناك نهاية لموضوعات حواراتهما؛ فكانا ينتقلان من التدقيق في مكونات الملح المعالج باليود الذي يتناوله طالب آخر إلى مناقشة أعمار النجوم.

وازدادت المناسبات التي كانا يدرسان فيها معا شيئا فشيئا. فكانا يلتقيان بعد ظهر كل أربعاء في مكتبة المدرسة ليشاركا نتائج أبحاثهما الفردية، وتلقيا في فصلي الربيع والصيف لعام 1929 دروسا خاصة في الكيمياء العضوية على يد معلم الكيمياء أندروز. ويقال أيضا إنهما كانا يتبادلان الأفكار الرياضية أثناء الحصص عبر كتابة ملاحظات برموز لا يفهمها سواهما. كما اصطحب موركوم، الذي كان يعشق الموسيقى، تورينغ إلى تجمع موسيقى الفونوغراف الذي كان يديره معلم الرياضيات إيبرسون.

كان موركوم بالنسبة لتورينغ أول صديق يشاركه لغة الفهم المشترك. ووصف ديرموت تورينغ، ابن أخ آلان تورينغ، موركوم لاحقا بأنه الشخص الذي لم ير غرابة في ولع تورينغ بالمعادلات وعلم الفلك. ومع ذلك، لم يكن الاثنان يفكران بالطريقة نفسها. كان تورينغ مدفوعا بأفكار لامعة وخاطفة، لكن صياغته النهائية كانت غالبا ما تفتقر إلى الصقل. أما موركوم، فلم يكن يكتفي بفهم المبدأ فحسب، بل كان يفكك كل خطوة في العملية ويفحصها بدقة متناهية. وعندما سأل مشرف النزل الداخلي تورينغ عن موركوم، أجاب

تورينغ بأن أكثر ما كان يثير إعجابه هو دقة موركوم وشموليته البالغة.

وتتجلى نظرة تورينغ إلى موركوم أيضا في الرسالة التي أرسلها لاحقا إلى والدة موركوم؛ حيث كتب تورينغ: "لم أعرف قط شخصا آخر يجمع بين هذا القدر من البراعة والجاذبية دون أدنى تفاخر. وكنت أعتبر دراستي واهتمامي بعلم الفلك أمرا ينبغي أن أشاركه معه." وكان موركوم هو الشخص الذي عرف تورينغ بعلم الفلك.

ولم تقف مشاعر تورينغ عند حدود الصداقة؛ فقد أحب موركوم بعمق، وتذكر هذا الشعور لاحقا بصفته حبه الأول. ولا يوجد أي سجل يشير إلى أن موركوم كان على دراية بمشاعر تورينغ. بل تعامل موركوم مع تورينغ كصديق عزيز يتوافق معه في التفكير. وبالنسبة لتورينغ الذي عانى من الوحدة، كان موركوم وجودا أضاء عالمه بالكامل.

في ديسمبر 1929، سافر الاثنان معا إلى كامبريدج لخوض امتحانات المنح الدراسية في كلية ترينيتي بجامعة كامبريدج. وعلى مدار أسبوع، استشعرا أجواء الجامعة ورسما في مخيلتهما الأيام التي سيدرسان فيها معا في المستقبل. غير أن النتائج جاءت متباينة؛ فقد قُبل موركوم كطالب منحة دراسية وكان من المقرر أن يلتحق بكلية ترينيتي في أكتوبر من العام التالي، بينما رُفض تورينغ. وعقد تورينغ، الذي اضطر للبقاء سنة إضافية في شيربورن، العزم على اللحاق بصديقه إلى كامبريدج بعد عام دون تردد.

لكن هذه الخطة تعثرت قبل أن يمر شهران كاملان. ففي مساء يوم الخميس، 6 فبراير 1930، أقيمت حفلة موسيقية لجوقة "سولزبوري سينغرز" في القاعة المدرسية الكبرى

(Big Schoolroom) بمدرسة شيربورن. وحضر موركوم الحفل برفقة تورينغ وأصدقاء آخرين. وكانت تلك الأمسية هي المرة الأخيرة التي قضى فيها الاثنان وقتا معا.

3.2. مأساة مفاجئة وحزن عميق

في الليلة نفسها بعد انتهاء الحفل الموسيقي، سقط موركوم فجأة مغشيا عليه وهو يعاني من ألم شديد. وفي اليوم التالي، نقلته المدرسة إلى مستشفى ييتمان في شيربورن لمتابعة حالته. وفي يوم الأحد، 9 فبراير، نُقل موركوم إلى مستشفى في لندن حيث خضع لعمليتين جراحيتين. فقد تسبب السل الذي أصيب به في طفولته في حدوث التهاب في الغشاء المبطن للبطن، مما أدى إلى انسداد الأمعاء. وظهرت مضاعفات بعد الجراحة، ولم يتمكن موركوم من التعافي في نهاية المطاف. وفي ظهر يوم 13 فبراير 1930، فارق كريستوفر موركوم الحياة في دار تمريض تقع في 19 شارع مانشستر بلندن. وكان موركوم في الثامنة عشرة من عمره، بينما كان تورينغ في السابعة عشرة.

والسل الذي أودى بحياة موركوم هو مرض ناجم عن دخول بكتيريا تسمى متفطرة السل إلى الجسم. وغالبا ما يصيب الرئتين، غير أنه قد يصيب العظام أو الأمعاء أو الغشاء المبطن للبطن أيضا. وكما حدث مع موركوم في إصابته بالسل البقري، كان الكثيرون في الماضي يصابون بالسل بسبب شرب حليب البقر الملوث بالبكتيريا دون معالجة. وفي يومنا هذا، يتم بسترة الحليب في درجات حرارة عالية وتتوفر أدوية فعالة تجعل الشفاء منه ممكنا في معظم الحالات. غير أنه في عام 1930، لم تكن هناك أدوية لعلاج السل بعد.

مر تورينغ بتجربة غريبة في الفترة التي انهار فيها موركوم. وتذكر تورينغ لاحقا أنه استيقظ في إحدى الليالي آنذاك، وبينما كان ينظر عبر النافذة إلى القمر وهو يغيب، انتابه شعور بأن مكروها قد أصاب موركوم. وظلت هذه التجربة، التي يصعب تفسيرها علميا، عالقة في وجدان تورينغ لفترة طويلة.

دُفن موركوم في فجر يوم 15 فبراير في مقبرة كنيسة كرايست تشيرش في كاتسهيل، بالقرب من منزل عائلته. وفي اليوم التالي، 16 فبراير، أقيمت صلاة تأبين لموركوم في كنيسة مدرسة شيربورن. وخيم الحزن على المدرسة بأكملها لفقدان طالب متميز.

في ذلك اليوم، كتب تورينغ رسالة إلى والدته: "إنني على يقين من أنني سألتقي بموركوم مرة أخرى في مكان ما. ومثلما كنت أؤمن بأن لدينا عملا ننجزه معا هنا، سيكون لدينا عمل ننجزه معا هناك أيضا. والآن بعد أن تُركت لإنجاز ذلك العمل بمفردي، يجب ألا أخيب ظنه. ورغم أن الأمر لن يكون ممتعا كما كان حين وجوده هنا، إلا أن علي بذل القدر نفسه من الجهد والطاقة." وحملت هذه الرسالة عزما جديدا إلى جانب الحزن العميق؛ إذ صمم تورينغ على مواصلة الدراسات التي لم يتمكن صديقه من إكمالها.

ترجم تورينغ هذا العزم إلى أفعال؛ وكانت أول مهمة تولاها هي اختيار الكتب التي كان من المفترض أن يتسلمها صديقه كجائزة. فقد قررت مدرسة شيربورن منح جائزة ديغبي للرياضيات والعلوم لعام 1929 لموركوم الراحل، واختار تورينغ الكتب نيابة عنه. وكانت الكتب التي اختارها تورينغ هي كتابي آرثر إدينغتون: "طبيعة العالم المادي" و"البنية الداخلية للنجوم"، وكتابي جيمس جينز: "علم الفلك ونشأة الكون" و"الكون من حولنا".

وكانت جميعها كتبا تتناول النجوم والكون والفيزياء الجديدة، وهي الموضوعات نفسها التي اعتاد الفتيان مناقشتها معا.

وفي العام نفسه، 1930، أنشأ والدا موركوم "جائزة كريستوفر موركوم" في مدرسة شيربورن تخليدا لذكرى ابنهما. ولم تكن هذه الجائزة تمنح بناء على درجات الاختبارات؛ بل كان معلمو العلوم يراجعون دراسات الطلاب على مدار العام ويمنحونها لأكثر الطلاب تميزا بناء على معدل التقدم والأصالة وعمق الفهم. وكان الفائز يحصل أيضا على صورة شخصية مرسومة لموركوم.

عقد تورينغ العزم على الفوز بهذه الجائزة بأي ثمن. وفي عام 1930، أصبح أول فائز بها بفضل ورقة بحثية أصيلة درس فيها التفاعلات الكيميائية بين الكبريتيت واليودات في المحاليل الحمضية. كما واصل عزمه على الذهاب إلى كامبريدج. وبعد أن كرس جهوده للدراسة، خاض تورينغ امتحانات المنح الدراسية في كامبريدج مرة أخرى في ديسمبر 1930، واختير هذه المرة طالبا حاصلا على منحة في كلية كينغز. وحصل تورينغ على جائزة موركوم في عام 1931 أيضا. ومن خلال فوزه بالجائزة التي تحمل اسم صديقه لعامين متتاليين، وفى تورينغ بذلك العهد.

3.3. مقالة «طبيعة الروح»

بعد رحيل موركوم، بدأ تورينغ في تبادل الرسائل مع والدة موركوم، فرانسيس إيزوبيل موركوم. وكانت السيدة موركوم نحاتة ورسامة. استقبلت تورينغ بحفاوة بصفته أقرب

أصدقاء ابنها، ووجد تورينغ بدوره العزاء لدى عائلة موركوم. واستعار تورينغ التلسكوب والكرة السماوية اللذين كان يستخدمهما موركوم لمواصلة مراقبة النجوم. والكرة السماوية هي أداة رُسمت على سطحها الكروي الخارجي المجموعات النجمية في السماء، وتستخدم لدراسة مواقع النجوم وحركتها.

ولم تقتصر هذه المراسلات على عام أو عامين؛ بل كان تورينغ يرسل رسالة إلى السيدة موركوم في كل عام في يومين محددين: 13 يوليو، وهو يوم ميلاد موركوم، و13 فبراير، وهو يوم وفاته. وكانت رسائل تنقل مشاعره بأنه لم ينس صديقه قط. واستمرت هذه المراسلات لأكثر من 10 سنوات حتى وفاة السيدة موركوم في عام 1941. ورغم أن صداقة الفتيين لم تدم سوى أقل من عام ونصف، إلا أن صلة تورينغ بعائلة موركوم امتدت لفترة أطول من ذلك بكثير.

ومن رحم هذه الصلة وُلد عمل كتابي؛ ففي نحو أبريل 1932، بعد عامين من وفاة موركوم، كان تورينغ قد أصبح طالبا في كلية كينغز بجامعة كامبريدج. وفي ذلك الوقت، أقام تورينغ في "ذا كلوك هاوس" بالقرب من برومزغروف وقضى بعض الوقت مع عائلة موركوم، وهناك كتب مقالا قصيرا من أجل السيدة موركوم. وكان عنوانه "طبيعة الروح" (Nature of Spirit). ولا تزال هذه المخطوطة التي كتبها تورينغ بخط يده محفوظة حتى اليوم في أرشيف كلية كينغز في كامبريدج.

ولفهم هذا المقال، ينبغي أولا معرفة التغيرات التي طرأت على علم الفيزياء في ذلك الوقت. فطوال فترة طويلة، فسر العلماء العالم استنادا إلى فيزياء نيوتن. ووفقا لهذا

التصور، يتحرك الكون وفق قوانين محددة كأنه ساعة عملاقة؛ فإذا عرفنا موقع وسرعة كل جسم في الوقت الحاضر، أمكننا حساب كل ما سيحدث في المستقبل دون استثناء. ويطلق على هذا التصور اسم "الحتمية". وكان الناس يؤمنون بهذه الفكرة إيمانا راسخا وهم يرون علماء الفلك يتنبؤون بدقة بمواعيد كسوف الشمس حتى بعد عقود من الزمن.

إلا أنه في عشرينيات القرن العشرين، ظهرت فيزياء جديدة تسمى "ميكانيكا الكم". وميكانيكا الكم هي علم يدرس العوالم متناهية الصغر كالذرات والإلكترونات. واكتشف العلماء أنه في هذا العالم الصغير لا يمكن تحديد موقع الجسم وسرعته بدقة في آن واحد. ولم يكن بالإمكان التعبير عما يحدث في هذا العالم الصغير إلا بلغة الاحتمالات. وكان كتاب إدينغتون "طبيعة العالم المادي"، الذي اختاره تورينغ نيابة عن موركوم، كتابا يشرح للقارئ العادي كيف غيرت هذه الفيزياء الجديدة النظرة إلى العالم.

سعى تورينغ في مقال "طبيعة الروح" إلى فهم موت صديقه من خلال هذه الفيزياء الجديدة. وما تناوله في الجزء الأول من المقال هو الحتمية. فقد كان العلم القديم يرى أنه إذا عُرفت حالة الكون بأكملها أمكن التنبؤ بالمستقبل. غير أنه عند التعامل مع الذرات والإلكترونات، لا يمكن معرفة حالتها الدقيقة؛ ذلك لأن أدوات القياس التي نستخدمها تتكون هي ذاتها من ذرات وإلكترونات. واستنادا إلى هذه النقطة، رأى تورينغ أن فكرة تحديد جميع الأفعال البشرية مسبقا، تماما مثل كسوف الشمس، فكرة تنهار ولا تصمد.

وإذا لم تكن الأفعال محددة مسبقا، يتبقى التساؤل حول ما يحددها. وهنا يتحدث تورينغ عن "الإرادة" الإنسانية. فقد اعتقد تورينغ أن الإنسان يمتلك إرادة تحدد حركة

الذرات في جزء صغير من الدماغ، أو ربما في الدماغ بأكمله. وأوضح أن بقية الجسد تعمل كجهاز يضخم هذه الحركة الصغيرة بدرجة كبيرة، على غرار مكبر الصوت الذي يضخم صوتا خافتا. وبذلك، تتضخم الحركة الطفيفة لعدد قليل من الذرات داخل الدماغ لتتحول إلى أفعال كبرى تحرك الذراعين والساقين. وأضاف تورينغ أن الذرات الأخرى في الكون تفتقر إلى مثل هذا الجهاز المضخم، ولهذا السبب تبدو حركتها وكأنها وليدة الصدفة.

وفي منتصف المقال، ينتقل تورينغ من الإرادة إلى الروح ليتناول العلاقة بين الروح والمادة. واستند تورينغ إلى أفكار فيلسوف كامبريدج ماكتاغارت، ليرى أنه في غياب الروح لا يكون للمادة أي معنى. كما اعتقد أن الروح مرتبطة بالمادة إلى الأبد، ولكنها لا تظل دائما في الجسد نفسه. وكتب أنه بينما كان يُعتقد في الماضي أن الروح يمكن أن تنتقل بعد الموت إلى كون يختلف تماما عن كوننا، فإن مثل هذا التصور بات غير متسق الآن نظرا لأن الروح والمادة لا يمكن أن تنفصلا عن بعضهما البعض.

وإذا كانت الروح لا تستطيع مغادرة المادة، فيجب تفسير ما يحدث للروح بعد موت الجسد. وسعى تورينغ للبحث عن الإجابة في طريقة ارتباط الجسد بالروح؛ فالجسد الحي، بصفته حيا، يجذب الروح ويمسك بها. وطالما كان الجسد حيا ومستيقظا، فإن الجسد والروح يرتبطان ارتباطا وثيقا. واعترف تورينغ بصراحة بأنه لا يمكن التكهن بما يحدث أثناء النوم. غير أنه رأى أنه عندما يموت الجسد، يختفي "الجهاز" الجسدي الذي كان يمسك بالروح، فتبحث الروح قبل أن يمضي وقت طويل، وربما على الفور، عن جسد جديد.

وفي ختام المقال، يتساءل تورينغ عن سبب امتلاك الروح لجسد، وما إذا كان بإمكان الأرواح أن تعيش بحرية وتتواصل فيما بينها دون أجساد. وكانت الإجابة التي قدمها تورينغ هي: قد يكون ذلك ممكنا، غير أنه لن يكون هناك حينئذ أي شيء لتفعله؛ فالجسد يمنح الروح شيئا تعتني به وتستخدمه. وعكست هذه الإجابة شوق تورينغ إلى الأوقات التي كان يقضيها مع موركوم في إجراء التجارب ومراقبة النجوم؛ فالحياة بالنسبة لتورينغ كانت تعني تبادل الأفكار والعمل معا.

يعد مقال "طبيعة الروح" نصا قصيرا لا يتجاوز صفحة واحدة تقريبا، ومع ذلك تظهر فيه بوضوح آثار محاولات تورينغ، وهو في التاسعة عشرة من عمره، لتحمل ألم فقدان صديقه الحبيب. ولم يعتمد تورينغ على مجرد إيمان غامض للتغلب على حزنه، بل درس ميكانيكا الكم، التي كانت أحدث المعارف العلمية في ذلك الحين، وسعى من خلالها لفهم العلاقة بين العقل والجسد. ونظرا لأن المقال كُتب بقلم طالب في التاسعة عشرة من عمره، فإن ثمة جوانب فيه لا تتفق مع المنظور العلمي المعاصر. ومع ذلك، طرح تورينغ في هذا المقال على نفسه أسئلة لا يملك أحد إجابتها وحاول حلها بالمنطق.

لم تظل الأفكار الواردة في هذا المقال على حالها دون تغيير؛ فمع مواصلة دراسته في كامبريدج، تغيرت أفكار تورينغ تدريجيا. وابتعد شيئا فشيئا عن الاعتقاد ببقاء الروح بعد الموت، ومال نحو الرأي القائل بإمكانية تفسير حركات العقل أيضا بالمادة والقوانين. ومع ذلك، لم تفارق التساؤلات ذاتها ذهن تورينغ أبدا: هل يمكن التعبير عن عملية التفكير البشري بواسطة القواعد؟ وهل يمكن صنع العقل كآلة؟

في عام 1936، ابتكر تورينغ آلة خيالية تعبر عن عملية الحساب البشري من خلال قواعد بسيطة. وأصبح هذا التصور، الذي يطلق عليه اليوم اسم "آلة تورينغ"، الأساس النظري لعلوم الكمبيوتر. وفي عام 1950، تناول في ورقته البحثية "آلات الحوسبة والذكاء" مسألة ما إذا كانت الآلات قادرة على التفكير. وتكشف كتابات تورينغ بعد فقدان موركوم عن أفكاره في شبابه وهو يتأمل العلاقة بين العقل والجسد؛ غير أنه لا يمكن الجزم بأن تلك التأملات قادت مباشرة إلى أبحاثه اللاحقة.

الفصل 4: حرية كلية كينغز في كامبريدج (1931–1935)



الشكل 4. رسم توضيحي لتورينغ أثناء دراسته في كامبريدج.

كان آلان تورينغ في سن 19 عامًا عندما حزم حقائبه وتوجه إلى كامبريدج في خريف عام 1931. وقبل ذلك، لم تكن السنوات 5 التي قضاها في مدرسة شيربورن سهلة؛ فقد كانت شيربورن مدرسة تولي أهمية كبرى للاتينية واليونانية، وكان المعلمون ينظرون بعين القلق إلى تورينغ المنهمك كليًا في الرياضيات والعلوم وحدهما. وهناك توفي صديقه كريستوفر موركوم، الذي كان أكثر من فهمه، بسبب مرض السل في فبراير 1930. وبدأ تورينغ حياته الجامعية وهو يحمل وطأة ذلك الحزن.

المكان الذي التحق به تورينغ كان كلية كينغز في جامعة كامبريدج. وتعد جامعة كامبريدج واحدة من أقدم الجامعات في بريطانيا، وتتألف من كليات متعددة. والكلية هي مجتمع صغير يأكل فيه الطلاب والأساتذة وينامون ويدرسون داخل نطاق واحد. وخلال السنوات 4 التي قضاها في كلية كينغز، وجد تورينغ لأول مرة مكانًا يمكنه فيه التعبير عن أفكاره بكل حرية. وحقق إنجازه الأول كعالم رياضيات، وتقبل بالتدريج طبيعة شخصيته. وفي هذه الفترة أيضًا، نبتت الأفكار التي قادته لاحقًا إلى تقديم مبادئ الحاسوب إلى العالم.

4.1 دخول كلية كينغز

امتحانان للمنحة الدراسية

قبل دخوله كلية كينغز، كان على تورينغ أن يخوض امتحان المنحة الدراسية مرتين. أُجري الامتحان الأول في ديسمبر 1929، حيث تقدم تورينغ برفقة موركوم لامتحان

المنحة في كلية ترينيتي في كامبريدج. وكانت كلية ترينيتي المكان الذي درس فيه إسحاق نيوتن، وكلية يطمح إلى الالتحاق بها كل طالب يحب الرياضيات. وأسفرت نتائج الامتحان عن فوز موركوم بمقعد المنحة، في حين أخفق تورينغ في الحصول عليه. وانتظر الصديقان اليوم الذي سيدرسان فيه معًا في كامبريدج، غير أن تلك الأمنية لم تتحقق بسبب وفاة موركوم بعد شهرين.

بقي تورينغ في مدرسة شيربورن عامًا آخر للدراسة، ثم خاض الامتحان مجددًا في ديسمبر 1930. ولم يتمكن من دخول كلية ترينيتي هذه المرة أيضًا. لكن بدلًا من ذلك، قبلته كلية كينغز، التي كانت خياره الثاني، طالبًا بمنحة دراسية. كانت قيمة المنحة 80 جنيهًا إسترلينيًا في العام، وكان هذا المبلغ عونًا كبيرًا في تغطية الرسوم الدراسية ونفقات المعيشة.

ولم يكن نيل المنحة الدراسية في كلية كينغز أمرًا سهلًا هو الآخر؛ فقد اعتادت كلية كينغز منذ أمد بعيد تخصيص مقاعد عديدة لخريجي مدرسة إيتون كوليدج المرموقة، لذا لم تكن المقاعد المتاحة لخريجي المدارس الأخرى كثيرة. ومع ذلك، كان الممتحنون في كلية كينغز يركزون على قدرة الطالب على التفكير المستقل أكثر من حفظه للقوانين الرياضية، وكانوا يقدّرون عاليًا من يقترب من المسائل بطرق غير مألوفة للآخرين. وهكذا، تحول أسلوب تورينغ في الحل، والذي كان يُوصف في شيربورن بأنه غير مرتب، إلى ميزة إيجابية هنا.

تقاليد أكاديمية حرة

في أكتوبر 1931، أصبح تورينغ طالبًا في قسم الرياضيات بكلية كينغز. وكانت كلية كينغز مشهورة بأجوائها الحرة والمتسامحة. وكان من بين العلماء الذين قادوا هذه الأجواء عالم الاقتصاد جون مايناردكينز، وهو الشخص الذي قدم لاحقًا نظريات غيرت السياسات الاقتصادية لدول العالم. وفي كلية كينغز، كان الطلاب والأساتذة يتناولون الطعام معًا في قاعة الطعام، ويتبادلون الأفكار دون اعتبار للسن أو الأصل العائلي. ولم يكن يُنظر إلى من يفكر بطريقة تختلف عن الآخرين على أنه غريب.

كانت هذه البيئة مناسبة تمامًا لتورينغ. لم يكن تورينغ يكترث بملابسه، وكان كثير التردد عند الحديث. ورغم أنه كان يتلقى اللوم في شيربورن بسبب تلك التصرفات، لم يعاتبه أحد في كلية كينغز على مثل هذه الأمور. وبدون أن يتهيب أحكام الآخرين، تنقل تورينغ بحرية بين الرياضيات والفيزياء والمنطق والفلسفة، يقرأ ويفكر.

إجابة توصل إليها بمفرده

يمكن الاطلاع على طريقة دراسة تورينغ في تلك الفترة من خلال رسالة كتبها في 31 يناير 1932. وبحسب الرسالة، تمكن تورينغ بمجهوده الشخصي من إثبات مسألة رياضية، غير أنه تبين له لاحقًا أنها كانت مبرهنة أثبتها بالفعل عالم الرياضيات البولندي فاتسواف سيربينسكي. فقد توصل دون مساعدة من أحد إلى الاستنتاج ذاته الذي بلغه عالم رياضيات شهير.

تكررت هذه الحادثة مع تورينغ عدة مرات؛ إذ اعتاد أن يحل المسائل بنفسه أولًا قبل البحث عن الإجابة في الكتب، ولذا كان يعيد كثيرًا اكتشاف نتائج سبق أن توصل إليها

غيره. كانت تلك الطريقة تستغرق وقتًا أطول، لكن تورينغ صقل بها قدرته على شق طريقه الخاص بدلًا من السير في المسارات التي مهدها الآخرون. وقادته هذه العادة في شق دربه بنفسه لاحقًا إلى انتخابه زميلًا في الكلية.

تساؤلات من الكتب والمحاضرات

إن اعتياده على حل المسائل بنفسه لم يمنع تورينغ من قراءة الكتب، بل طالع الكثير من الكتب الصعبة. فقد درس كتاب "الأسس الرياضية لميكانيكا الكم" الذي نشره عالم الرياضيات المجري المولد جون فون نيومان في عام 1932. وميكانيكا الكم هي فيزياء تفسر ما يجري في العوالم بالغة الصغر كالذرات. وبعد فقده لموركوم، راوده الفضول بشأن العلاقة بين العقل والجسد، وكانت ميكانيكا الكم تتقاطع مع هذا التساؤل. وفي عام 1933، قرأ كتاب "مقدمة في الفلسفة الرياضية" للفيلسوف البريطاني برتراند راسل، وهو كتاب يستقصي الأسس التي تقوم عليها الرياضيات. وشكلت هذه القراءات تربة خصبة استند إليها تورينغ بعد بضع سنوات عند ابتكاره مبادئ الحاسوب.

شارك تورينغ أيضًا في المحاضرات واللقاءات الأكاديمية؛ ففي خريف عام 1933، استمع إلى محاضرات عالم الفلك آرثر إدينغتون حول مناهج العلوم، وفي نهاية ذلك العام ألقى عرضًا تقديميًا حول الرياضيات والمنطق في "نادي العلوم الأخلاقية"، وهو منتدى لمناقشة الفلسفة. ومن بين هذه الأنشطة، قادت محاضرات إدينغتون تورينغ إلى أول أبحاثه الكبرى.

الاهتمام بالعالم

كانت أوروبا تعيش حالة من القلق والاضطراب في أوائل ثلاثينيات القرن 20 أثناء دراسة تورينغ الجامعية. فقد أدت أزمة الكساد الكبير إلى فقدان العديد من الناس لوظائفهم، واستولى هتلر على مقاليد الحكم في ألمانيا عام 1933. وارتفعت أصوات طلاب كامبريدج المعارضة للحرب والفاشية. والفاشية هي فكر تسحق فيه الدولة حرية الأفراد وتسعى لإخضاع الدول الأخرى بالقوة. وشارك تورينغ في هذه الحركة؛ إذ انضم في مايو 1933 إلى جمعية طلابية تسمى "لجنة مناهضة الحرب"، وشارك في نوفمبر من العام نفسه في مظاهرة احتجاج ضد فيلم يروج للحرب.

تخرج لامع

يتعين على طالب الرياضيات في كامبريدج اجتياز امتحان تخرج يُدعى "ترايبوس"، وهو امتحان ذائع الصيت بصعوبة مسائله. وفي يونيو 1934، حصل تورينغ على درجة البكالوريوس بمرتبة الشرف الأولى في هذا الامتحان، ونال أيضًا علامة تمييز خاصة لا تُمنح إلا للطلاب ذوي التحصيل المتفوق بصورة استثنائية. وهكذا أصبح الطالب الذي أثار قلق معلميه في شيربورن واحدًا من أبرز خريجي قسم الرياضيات في كامبريدج.

4.2 إنجازات رياضية مستقلة

سؤال انطلق من محاضرات إدينغتون

انطلق أول بحث علمي كبير لتورينغ قبل امتحانات التخرج، متأثرًا بمحاضرات إدينغتون التي استمع إليها في خريف عام 1933. فقد أوضح إدينغتون في محاضراته كيف تتشتت القيم المقاسة عبر التجارب؛ فعند قياس طول الشيء ذاته عدة مرات، تأتي النتائج مختلفة قليلًا في كل مرة. وإذا تراكبت أخطاء طفيفة متعددة في القياس، فإن قيم القياس غالبًا ما تتجمع في الوسط وتندر كلما اقتربنا من الطرفين. واقتصر إدينغتون على عرض هذه الظاهرة دون تقديم إثبات رياضي عميق لها. وهنا شرع تورينغ بنفسه في دراسة الشروط التي يظهر في ظلها هذا التوزيع للخطأ.

سر المنحنى الجرسي

يمكن إيضاح المسألة التي تصدى لها تورينغ باستخدام النرد. فعند إلقاء حجر نرد واحد، يظهر أي رقم من 1 إلى 6 بالاحتمال نفسه. ولنتأمل الآن حالة رمي حجري نرد وجمع الرقمين معًا: لكي يكون المجموع 2، يجب أن يظهر الرقم 1 في كلا الحجرين، بينما توجد حالات عديدة ليكون المجموع 7، مثل (1 و6)، و(2 و5)، و(3 و4). ولذا يظهر المجموع 7 بتكرار أعلى. ومع أن كل نرد بمفرده لا ينحاز لأي رقم، فإن المجموع يميل إلى التجمع حول القيمة المتوسطة.

وإذا زاد عدد أحجار النرد إلى 10 أو 100 وحُسب المجموع وتكررت العملية مرات لا حصر لها لرسم منحنى بياني، يظهر شكل فريد؛ منحنى يشبه الجرس، محدب في الوسط ويهبط تدريجيًا نحو الطرفين. ويظهر شكل مماثل في أخطاء القياس الناتجة عن تضافر عوامل صغيرة عديدة. بيد أن تجميع كميات كبيرة من البيانات لا يؤدي دائمًا وتلقائيًا إلى

هذا الشكل. ويطلق علماء الرياضيات على هذا المنحنى اسم "التوزيع الطبيعي"، كما يُسمى أيضًا "توزيع غاوس" لأن عالم الرياضيات الألماني كارل فريدريش غاوس درسه باستفاضة.

إن ما يوضح الشروط التي يقترب عندها توزيع المجموع من الشكل الجرسي هو "مبرهنة النهاية المركزية". ومن الأمثلة المبسطة على ذلك إلقاء حجر النرد ذاته عدة مرات متتالية دون أن تؤثر كل رمية على الأخرى. وتحت شرط أن تتبع كل نتيجة قواعد الاحتمال نفسها، وأن تكون القيمة المتوسطة ومقدار التشتت محدودين، يقترب توزيع المجموع من التوزيع الطبيعي عند مواءمة المركز والمدى للمقارنة. وحتى في الحالات التي تسير فيها النتائج وفق قواعد احتمالية متباينة، تصح هذه النتيجة إذا استوفيت شروط إضافية. وقد أجرى تورينغ أبحاثه على هذه الشروط، وتُستخدم هذه المبرهنة على نطاق واسع في الأساليب الإحصائية لتقييم هامش الخطأ في استطلاعات الرأي أو نتائج التجارب.

أكمل تورينغ إثبات هذه المبرهنة في قرابة فبراير 1934، وكان لا يزال حينئذ طالبًا في المرحلة الجامعية.

مبرهنة أثبتها باحث آخر مسبقًا

لكن برزت مشكلة واحدة؛ وهي أن عالم الرياضيات الفنلندي يارل فالديمار ليندبرغ كان قد أثبت هذه المبرهنة ونشرها بالفعل في عام 1922. ولم يكن تورينغ يعلم بهذا الأمر

حتى فرغ من إثباته. ومثلما جرى في واقعة سيربينسكي، توصل تورينغ بجهده الذاتي مجددًا إلى حل كان باحث آخر قد سبقه إليه.

في ميدان البحث العلمي الذي يتطلب كشف حقائق جديدة، لا يحظى عادة تقديم نتائج معلومة سلفًا بتقدير كبير. بيد أن علماء كلية كينغز رأوا قوة التفكير التي أدت إلى تلك النتيجة أكثر مما نظروا إلى النتيجة في حد ذاتها. واقترح عالم الرياضيات فيليب هول على تورينغ ترتيب هذا البحث وتقديمه كأطروحة لنيل الزمالة.

أطروحة الزمالة

عقب تخرجه، عقد تورينغ العزم على الترشح لزمالة كلية كينغز. والزميل هو باحث تنتخبه الكلية مباشرة. ويتيح نيل الزمالة الحصول على غرفة داخل الكلية، وتناول الطعام بصحبة الأساتذة في قاعة الكلية، والتفرغ للأبحاث مع تقاضي راتب، فضلًا عن اكتساب صلاحية تدريس الطلاب. وكان هذا الموقع غاية يتطلع إليها أي باحث شاب.

وكان التقدم للزمالة يقتضي تقديم أطروحة بحثية؛ فقدم تورينغ في نوفمبر 1934 أطروحة بعنوان "حول دالة الخطأ الغاوسية". وفي هذه الورقة، أثبت تورينغ مبرهنة النهاية المركزية من البداية إلى النهاية بمنهجه المستقل الخاص. وأشاد عالم الرياضيات أبرام بيسيكوفيتش، الذي حكّم الأطروحة، بأصالة إثبات تورينغ وابتكاره، وكتب في تقرير التحكيم أنه لو قُدر لهذا البحث أن يسبق عمل ليندبرغ لكان من أبرز إنجازات مجتمع الرياضيات في ذلك العام.

دعوة كينز لتناول الغداء

وشارك جون ماينارد كينز بدوره في انتخاب الزملاء؛ إذ كان كينز عالمًا صاحب نفوذ واسع في كلية كينغز. وفي 11 مارس 1935، دعا كينز المرشح تورينغ لتناول طعام الغداء، وكتب في اليوم نفسه رسالة إلى زوجته راقصة الباليه ليديا لوبوكوفا. وأورد كينز في رسالته أنه التقى شخصيًا بالمرشح الأبرز استنادًا إلى الوثائق وتفحصه بدقة حتى أظافره، وأنه شاب رائع للغاية ويدعى تورينغ.

وكان لتفحص كينز لأظافر تورينغ سببه؛ فقد كان معتادًا على مراقبة أيدي الأشخاص عند مقابلتهم لأول مرة، ويُروى عنه أنه لم يكن يستسيغ من يقضمون أظافرهم. ورغم أن القصة قد تبدو تفصيلًا عابرًا، إلا أنها تعكس بوضوح مدى اهتمام أحد شيوخ الكلية بمرشح في سن 22 عامًا لدرجة مقابلته وجهًا لوجه. وقد وردت هذه الواقعة في كتب السيرة التي تناولت حياة كينز.

زميل في سن 22 عامًا

وبعد 5 أيام، وتحديدًا في 16 مارس 1935، انتخبت كلية كينغز تورينغ زميلًا فيها. وكان تورينغ يبلغ من العمر حينها 22 عامًا، ولم يكن قد انقضى على تخرجه من الجامعة سوى أقل من عام واحد. ولم يكن نيل الزمالة في مثل هذا السن المبكر أمرًا مألوفًا.

عقب انتخابه زميلًا، انغمس تورينغ في أبحاثه على الفور؛ ففي أبريل 1935، أرسل بحثًا بعنوان "تكافؤ شبه الدورية اليسرى واليمنى" إلى "مجلة جمعية لندن للرياضيات"، وهو

أول بحث ينشره في دورية أكاديمية محكمة. وفي العام التالي 1936، حاز جائزة سميث تقديرًا لبحثه في مبرهنة النهاية المركزية. وتمنح جامعة كامبريدج جائزة سميث للباحثين الشباب المتميزين في حقل الرياضيات.

طوى النسيان لاحقًا بحث مبرهنة النهاية المركزية بحد ذاته؛ فالناس لا يستحضرون تورينغ كعالم رياضيات تخصص في الاحتمالات والإحصاء. بيد أن حصيلته المعرفية في الاحتمالات التي راكمها آنذاك استُخدمت بعد بضع سنوات لفك شفرات القوات الألمانية في الحرب العالمية الثانية. وهكذا برزت جدوى الفهم المتعمق لكيفية تراكم الصدف والتقلبات العشوائية في مضمار مغاير تمامًا.

4.3 الحرية الأكاديمية والهوية المثلية

ملاذ لا يضطر فيه للمواراة

لم تقتصر مكاسب تورينغ من كلية كينغز على الإنجازات الرياضية وحدها؛ بل استطاع فيها أن يواجه حقيقة ذاته بصدق. فقد كان تورينغ ينجذب عاطفيًا إلى الرجال وليس إلى النساء، وكان الشعور الذي حمله تجاه موركوم أيام مدرسة شيربورن نابعًا من تلك الطبيعة.

كان هذا الأمر في بريطانيا آنذاك شيئًا يُلزم كتمانه؛ فالقانون البريطاني كان يجرّم ممارسات جنسية معينة بين الرجال ويعاقب عليها. ونص قانون تعديل القانون الجنائي

لعام 1885 على تجريم "الفحش الجسيم" بين الذكور، وسرى ذلك حتى على الممارسات التي تقع في أماكن خاصة ومغلقة. وكان افتضاح الأمر يهدد بفقدان الوظيفة والزج في السجن، لذا عاش السواد الأعظم ممن يميلون إلى أفراد جنسهم وهم يخفون تلك الحقيقة.

كان المناخ داخل كلية كينغز مختلفًا تمامًا عن العالم الخارجي؛ فلم يكن كينز ونخبة من علماء الكلية يرون غضاضة في ميول أي شخص، وكان بين هؤلاء العلماء أنفسهم من ينجذب إلى بني جنسه. ورغم أن وطأة القانون ظلت باعثة على الخوف خارج أسوار الكلية، إلا أنه لم تكن ثمة حاجة لإخفاء الأمر بين الأصدقاء المقربين في رحابها. وفي ظل هذه الأجواء، تقبل تورينغ هويته المثلية تدريجيًا، دون أن يشعر بالخجل من نفسه أو يحاول تطويعها قسرًا، وظل وفيًا لهذا النهج طوال حياته.

أصدقاء قاسمهم خلجات النفس

عقد تورينغ في كامبريدج صلات صداقة عميقة كشف فيها عن دخائل نفسه. وكان ديفيد شامبرنون طالبًا بمنحة دراسية في الرياضيات التحق بكلية كينغز في العام ذاته مع تورينغ، وكان أصحابه يدعونه "تشامب". وبلغت ثقة تورينغ بتشامب حد إطلاعه على كتابات صاغ فيها أسراره الداخلية. ومع أن تشامب غدا لاحقًا خبيرًا اقتصاديًا، إلا أن صداقتهما امتدت زمنًا طويلًا، وفي عام 1948 تعاونا في تصميم برنامج حاسوبي للعب الشطرنج، وأُطلق على هذا البرنامج اسم "توروتشامب" بدمج لقبيهما.

وفي عام 1933، خرج في رحلة سير على الأقدام برفقة زميله في قسم الرياضيات

جيمس أتكينز إلى منطقة البحيرات في شمال غرب إنجلترا. وتتميز منطقة البحيرات بطبيعتها الخلابة التي تجمع بين مياه البحيرات وقمم الجبال. وكانت تلك الرحلة منطلقًا لنشوء علاقة عاطفية متبادلة بينهما دامت عدة سنوات.

وتوثقت صلة تورينغ كذلك بفريد كلايتون، وهو باحث شاب تخصص في الدراسات الكلاسيكية. وكان كلايتون مناهضًا للحرب والفاشية على غرار تورينغ. ومن خلال رفقة هؤلاء الأصدقاء المتوافقين معه فكريًا، وسع تورينغ مداركه واهتماماته نحو عوالم تتجاوز أسوار الرياضيات.

الرياضة ورصد النجوم

كان تورينغ شغوفًا بالحركة البدنية أيضًا؛ ففي مايو 1935، شارك في سباقات التجديف ممثلًا لنادي القوارب في كلية كينغز. كما كان يجد متعة في الركض لمسافات طويلة بمفرده. وغدا الجري رياضته الأثيرة مدى الحياة، وتطور مستواه لاحقًا حتى بات يحقق أرقامًا تنافس مستويات عدائي الماراثون.

وامتلك تورينغ هواية فريدة تمثلت في رصد نجوم السماء ليلًا لضبط عقارب ساعة يده بدقة متناهية؛ فالنجوم تعبر مدارات معينة في مواقيت دقيقة، واستغل تورينغ هذا الانتظام لتصحيح انحراف ساعته. وكانت قناعة أن الكون يسير وفق قوانين مطردة، والسعي لاكتشاف تلك القوانين وتوظيفها عمليًا، متعة لازمته طوال مسيرته.

فكر أنمته رحاب الحرية

وهكذا، لم تكن البراعة الرياضية الحصاد الوحيد الذي غنمه تورينغ في كلية كينغز؛ بل تعلم الثقة بأفكاره والاطمئنان إلى أن التمايز عن الآخرين ليس نقيصة. فالفتى الذي كان يعكف على دراسته في عزلة موحشة بشيربورن، ظفر هنا بالخلان والأساتذة. غير أن نعمة الحرية تلك ظلت رهينة أسوار الكلية؛ إذ بقيت تشريعات المجتمع البريطاني على جمودها، وكتبت تلك القوانين لاحقًا فصلًا بالغ القسوة والألم في حياة تورينغ.

مقاربة مسألة القرار

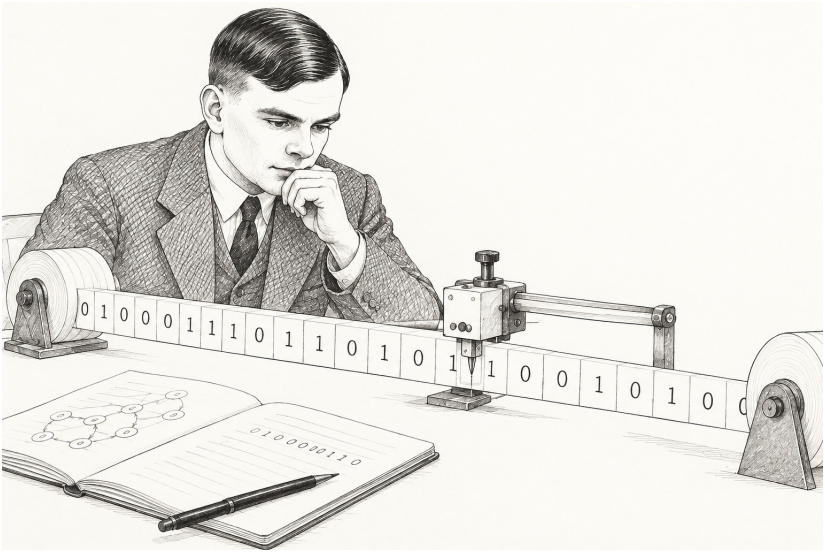
في ربيع عام 1935، بعدما تبوأ موقع الزميل وتفرغ لبحوثه، واظب تورينغ على حضور محاضرات عالم الرياضيات ماكس نيومان المعنونة بـ "أسس الرياضيات". وعرض نيومان في هذه المحاضرات مبرهنتي عدم الاكتمال اللتين صاغهما عالم الرياضيات النمساوي كورت غودل عام 1931. وتنص مبرهنة عدم الاكتمال على أنه في أي نظام رياضي متسق وخالٍ من التناقضات، يتسع للحساب الأساسي للأعداد الطبيعية وتُعين بديهياته بأسلوب آلي، تظل هناك حتمًا قضايا صادقة لكن يستحيل إثباتها استنادًا إلى قواعد ذلك النظام وحده.

وتطرق نيومان كذلك إلى "مسألة القرار" التي صاغها عالم الرياضيات الألماني ديفيد هيلبرت. وتدور مسألة القرار حول منطق الرتبة الأولى، وهو نظام منطقي أساسي يعالج خصائص الكيانات والروابط بينها؛ إذ تتساءل عما إذا كان ثمة إجراء منهجي حاسم يكفل دائمًا التحقق مما إذا كانت عبارة مفترضة قابلة للإثبات وفق القواعد المنطقية للنظام. وكان هيلبرت على يقين بوجود مثل هذه الخوارزمية. ومن هنا شرع تورينغ في سبر

أغوار هذا التساؤل المعقد.

في صيف عام 1935، وفي أثناء استراحته بعد حصة ركض في مروج غرانتشستر المجاورة لكامبريدج، عكف تورينغ على تقليب هذه المسألة في ذهنه مليًا، حتى لاحت له بارقة أمل لحلها؛ فماذا لو فككنا العمليات الحسابية التي ينجزها الإنسان بالورقة والقلم إلى حركات أولية بالغة البساطة؟ وأثمرت هذه الرؤية عن بحثه الصادر عام 1936 بعنوان "عن الأعداد القابلة للحساب، مع تطبيق على مسألة القرار". وفي هذا البحث بالذات، رأت النور تلك الآلة النظرية التي ندعوها اليوم "آلة تورينغ"، ومعها "الآلة الشاملة" التي أرست المبادئ النظرية لجميع الحواسيب.

الفصل 5: الأعداد القابلة للحساب وآلة تورينغ الشاملة (1936–1935)



الشكل 5. رسم تخطيطي مفاهيمي لآلة تورينغ التي تجري الحسابات باستخدام الشريط والقواعد.

في مارس 1935، اختارت كلية كينغز بجامعة كامبريدج آلان تورينغ زميلًا بحثيًا فيها. وفي ربيع ذلك العام، كان تورينغ في الثانية والعشرين من عمره. وبعد أن أصبح زميلًا، تمكن من الحصول على السكن ومنحة بحثية من الكلية، مما أتاح له متابعة دراسته التي يرغب فيها بحرية تامة. وفي ذلك الربيع تحديدًا، صادف تورينغ سؤالًا عجز علماء الرياضيات عن حله لفترة طويلة. وللإجابة عن هذا السؤال، رسم في مخيلته آلة، وأصبح هذا النموذج الحسابي على الورق فيما بعد أساسًا مهمًا لفهم مبادئ الحواسيب للأغراض العامة.

5.1. مسألة القرار لهيلبرت

جاء ذلك السؤال من عالم الرياضيات الألماني دافيد هيلبرت (David Hilbert). كان هيلبرت عالمًا قاد مجالات متعددة في الرياضيات في أوائل القرن 20. وكان يرغب في تشييد الرياضيات كبناء محكم لا تشوبه شائبة. وتمنى أن يكون من الممكن، انطلاقًا من بضع قواعد أساسية يسميها علماء الرياضيات 'بديهيات'، إثبات كل عبارة رياضية أو دحضها.

ولتحقيق هذا الهدف، كان على الرياضيات أن تجيب عن ثلاثة أسئلة. الأول هو هل الرياضيات كاملة، وهو تساؤل عما إذا كان بالإمكان إثبات جميع العبارات الصائبة. والثاني هو هل الرياضيات خالية من التناقض، وهو تساؤل عما إذا كان لا يمكن أن يحدث إثبات لعبارة ونقيضها في الوقت نفسه. والثالث هو هل الرياضيات قابلة للتقرير، وهو تساؤل عما إذا كانت هناك طريقة تُعطي إجابة عما إذا كان من الممكن إثبات تلك العبارة

أو لا، بمجرد اتباع خطوات متسلسلة لأي عبارة رياضية معطاة.

تتعلق المسألة المحددة التي طرحها هيلبرت بخصوص السؤال الثالث بعبارات منطق الرتبة الأولى. ومنطق الرتبة الأولى هو نظام منطقي أساسي يتعامل مع خصائص الكيانات والعلاقات بينها. وتتساءل هذه المسألة عما إذا كان هناك إجراء يحدد دائمًا ما إذا كانت مثل هذه العبارات قابلة للإثبات وفقًا لقواعد المنطق. وتُعرف هذه المسألة بالألمانية باسم 'Entscheidungsproblem' (إنشتايدونغس بروبليم)، وتُسمى بـ 'مسألة القرار'. وفي عام 1928، طرح هيلبرت هذه المسألة بوصفها مهمة رئيسية في المنطق الرياضي في كتاب في المنطق ألفه بالاشتراك مع زميله فيلهلم أكرمان (Wilhelm Ackermann). ويسهل فهم ما تتطلبه مسألة القرار إذا تخيلنا كتيب إرشادات؛ فبوسع أي شخص إدخال عبارة رياضية واتباع الخطوات المدونة في الكتيب بالترتيب تمامًا، ليتوصل في النهاية إلى إجابة: 'قابلة للإثبات' أو 'غير قابلة للإثبات'. ولو وُجد مثل هذا الكتيب، لما احتاج علماء الرياضيات إلى التفكير المضني طوال الليل؛ إذ يكفي إدخال العبارة واتباع الخطوات خطوة بخطوة. وكان هيلبرت يؤمن بأن مثل هذه الطريقة ستظهر حتمًا في يوم من الأيام.

غير أنه في عام 1931، صدع عالم الرياضيات النمساوي الشاب كورت غودل (Kurt Gödel) حلم هيلبرت. فقد استهدفت 'مبرهنة عدم الاكتمال' التي نشرها غودل الأنظمة الرياضية المستوفية لشروط معينة؛ وتلك الشروط هي أن يتضمن النظام الحساب الأساسي للأعداد الطبيعية، وأن تكون بديهياته قابلة للتحديد آليًا، وأن يكون خاليًا من التناقض. وأظهر غودل أنه في مثل هذا النظام، لا بد أن توجد عبارات صائبة ولكن لا يمكن

إثباتها باستخدام قواعد ذلك النظام وحدها. كما أوضح أن مثل هذا النظام لا يمكنه حتى إثبات خلوه الذاتي من التناقض باستخدام أساليب نظامه نفسه.

لم يكن غودل قد أثبت وجود تناقض في الرياضيات بأسرها، غير أن الإجابة عن سؤال هيلبرت الأول باتت واضحة بـ 'لا'، وفيما يتعلق بالسؤال الثاني أيضًا، انكشفت محدودية النظام الخالي من التناقض في إثبات اتساقه الذاتي بنفسه. ومع ذلك، ظل السؤال الثالث، وهو مسألة القرار، قائمًا دون أن يتمكن أحد من حله.

المكان الذي التقى فيه تورينغ بهذه المسألة كان قاعة محاضرات ماكس نيومان (Max Newman). كان نيومان عالم رياضيات في كامبريدج، يبحث في الطوبولوجيا التي تدرس خصائص الأشكال، إلى جانب المنطق الرياضي. وفي ربيع عام 1935، ألقى نيومان دورة محاضرات متقدمة بعنوان 'أسس الرياضيات' (Foundations of Mathematics)، وحضرها تورينغ. وبعد أن شرح نيومان مبرهنة غودل لعدم الاكتمال بتفصيل وافٍ، عرض مسألة القرار لهيلبرت، وتساءل عما إذا كانت هناك 'طريقة آلية' تبين ما إذا كان من الممكن إثبات عبارة رياضية أم لا.

والمقصود بـ 'الطريقة الآلية' هو وسيلة لا تتطلب إعمال العقل والاجتهاد في التفكير، بل تكتفي باتباع قواعد مدونة مسبقًا. والجمع العمودي الذي يُتعلم في المرحلة الابتدائية خير مثال على ذلك؛ إذ يبدأ المرء بجمع خانة الآحاد، وإذا تجاوز المجموع 10، يُرفع 1 إلى الخانة التي تعلوها. وما دامت القواعد متبعة بدقة، فسيصل أي شخص إلى النتيجة نفسها. وتُسمى هذه الوسيلة 'خوارزمية'.

كانت المعضلة تكمن في أن علماء الرياضيات آنذاك لم يحددوا بدقة ما هي 'الطريقة الآلية'. كان الجميع يدركون معناها بالحدس، غير أنه لم يقم أحد بصياغتها صياغة محكمة بلغة الرياضيات. وللإجابة عن مسألة القرار بـ 'نعم'، لم تكن هناك حاجة لمثل هذا التعريف؛ إذ يكفي العثور على طريقة واحدة من هذا النوع وإظهارها. أما إذا كانت الإجابة 'لا توجد مثل هذه الطريقة على الإطلاق'، فإن الأمر يختلف تمامًا؛ إذ يتعين فحص جميع الطرق الممكنة، ويتطلب ذلك أولًا تحديد ما تعنيه 'الطريقة'. ويشبه هذا القول بأنه لا يمكن لأي لاعب دخول الملعب، حيث ينبغي أولًا تحديد من هو اللاعب.

انكب تورينغ على هذه المسألة غارقًا في التفكير بمفرده. وقد سجل أندرو هودجز (Andrew Hodges)، مؤلف سيرة تورينغ، مشهدًا من أوائل صيف عام 1935؛ حيث كان تورينغ يتجول على ضفاف نهر كام في مروج غرانتشستر (Grantchester Meadows) بالقرب من كامبريدج، وبينما كان مستلقيًا يستريح على العشب، ومضت في ذهنه الفكرة الجوهرية: بدلًا من تعريف 'الطريقة الآلية' بصيغ معقدة، لنقم بتفكيك ما يفعله الإنسان فعليًا أثناء الحساب إلى حركات بالغة الصغر وتحويلها إلى حركات تؤديها آلة.

5.2. ولادة البحث التاريخي

من صيف عام 1935 إلى ربيع عام 1936، عكف تورينغ على أبحاثه بمفرده تقريبًا، ونادرًا ما تبادل الآراء مع باحثين آخرين. وكان يتأمل ما يجري في عقله كما لو كان يراقب شخصًا يجري الحسابات إلى جواره.

في حقبة الثلاثينيات من القرن 20، كانت كلمة 'حاسوب' (computer) تُطلق على الإنسان لا على الآلة؛ إذ كان الموظف الذي يقضي طوال اليوم في حساب الأرقام في الدوائر الحكومية أو المراصد الفلكية يُسمى حاسوبًا. وتخيل تورينغ هذا الشخص وهو يجري الحسابات بقلم رصاص في دفتر ذي شبكة مربعات. فالإنسان عند الحساب يكتب أرقامًا في المربعات، ويمحوها، وينقل عينيه إلى المربع المجاور، ويتذكر ما يفعله في تلك اللحظة.

قام تورينغ في هذه العملية بالاقتصار على ما هو ضروري للحساب فقط وتجزئته إلى أجزاء أصغر. فمع أن مربعات الدفتر ممتدة أفقيًا ورأسيًا، إلا أنه لا ضير في الحساب إذا جُعلت المربعات متصلة في صف طويل واحد. وبما أن الإنسان لا يمكنه رؤية سوى بضعة مربعات في المرة الواحدة، فإن الآلة يكفيها أيضًا النظر إلى مربع واحد فقط في المرة الواحدة. وبما أن ذاكرة الإنسان لها حدود، فإن بضع حالات تحتفظ بها الآلة في ذاكرتها تكون كافية. كما يكفي وجود عدد محدود من الرموز القابلة للاستخدام.

وهكذا اكتملت ملامح الآلة في مخيلة تورينغ. وتتكون هذه الآلة من أربعة أجزاء. أولها الشريط؛ وهو شريط ورقي طويل مقسم إلى مربعات، يمكن تمديده إلى ما لا نهاية في كلا الاتجاهين عند الحاجة، ويمكن كتابة رمز واحد في كل مربع. وثانيها رأس القراءة والكتابة، ويُسمى بالإنجليزية 'head'. ويستقر هذا الرأس فوق مربع واحد من مربعات الشريط ليقرأ رمزه؛ ويمكنه كتابة رمز جديد، أو مسح رمز قائم، والتحرك مربعًا واحدًا إلى اليسار أو إلى اليمين.

وثالثها حالة الآلة؛ فكما يتذكر الإنسان 'أنا الآن في خضم عملية الحمل'، تتذكر الآلة أيضًا المرحلة التي تمر بها حاليًا في صورة حالة، وعدد هذه الحالات محدود. ورابعها جدول القواعد؛ وهو جدول يجمع قواعد من قبيل: 'إذا كانت الحالة الحالية أ والرمز الذي قرأه الرأس 0، فاكتب 1 في ذلك المربع، وتحرك مربعًا واحدًا إلى اليمين، وغيّر الحالة إلى ب'.

تتحرك الآلة خطوة بخطوة بالرجوع إلى جدول القواعد، ولا تقوم بأي عمل آخر. وقد أورد تورينغ في بحثه، كأول مثال، آلة تكتب 0 و 1 بالتناوب وبلا نهاية. وتواصل هذه الآلة كتابة 0، 1، 0، 1 دون توقف على الشريط باستخدام أربع حالات وأربعة أسطر من القواعد فقط.

أطلق تورينغ على هذه الآلة اسم 'آلة-a' (a-machine) اختصارًا لعبارة 'آلة أوتوماتيكية' (automatic machine). أما اسم 'آلة تورينغ' الذي نستخدمه اليوم، فقد أطلقه لأول مرة عالم المنطق الأمريكي ألونزو تشرتش (Alonzo Church) في عام 1937 في مراجعة نقدية استعرض فيها بحث تورينغ.

قد تبدو آلة تورينغ متواضعة في ظاهرها، غير أن تورينغ أكد أن أي عملية حسابية يمكن للإنسان إنجازها باتباع القواعد تستطيع هذه الآلة القيام بها أيضًا؛ فمهما بلغت الحسابات من التعقيد، فإنها تؤول في النهاية إلى تكرار خطوات قراءة مربع واحد، وكتابة مربع واحد، والتحرك مربعًا واحدًا، وتغيير الحالة مرات عديدة جدًا. وهكذا، عرّف تورينغ 'الطريقة الآلية'، التي ظلت دون تحديد لمعناها في محاضرات نيومان، بأنها العمل الذي تستطيع هذه الآلة أداءه.

وعرّف تورينغ بهذه الآلة أيضًا 'الأعداد القابلة للحساب' الواردة في عنوان بحثه. فقد أطلق تورينغ مسمى الأعداد القابلة للحساب على الأعداد التي تستطيع الآلة كتابة أرقامها العشرية رقمًا تلو الآخر بلا نهاية باتباع القواعد. فالنسبة التقريبية π تمتد بلا نهاية كـ ... 3.14159، ولكن آلة تملك جدول قواعد ملائمًا يمكنها الاستمرار في كتابة تلك الأرقام رقمًا بعد رقم؛ ولذلك فإن π عدد قابل للحساب، والشيء نفسه ينطبق على الثابت الطبيعي e. بيد أن تورينغ أثبت أيضًا وجود أعداد يمكن وصفها بالكلمات، ومع ذلك تعجز أي آلة عن تدوين أرقامها العشرية. وكانت هذه أول إشارة تدل على أن لعالم الحساب حدودًا ونهاية.

في أبريل 1936، أطلع تورينغ نيومان على مسودة بحثه التي شارفت على الاكتمال. وفي ذلك الحين بالذات، وردت أنباء من الولايات المتحدة تفيد بأن ألونزو تشرتش من جامعة برينستون قد حل مسألة القرار بطريقته الخاصة التي أسماها 'حساب لَمدا' (λ-calculus). وكان تشرتش قد نشر في عام 1936 في 'المجلة الأمريكية للرياضيات' (American Journal of Mathematics) بحثًا بعنوان 'مسألة غير قابلة للحل في نظرية الأعداد الابتدائية' (An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory)، مبينًا فيه وجود مسائل في نظرية الأعداد لا يمكن حلها بحساب لمدا، كما تناول مسألة القرار لهيلبرت مباشرة في العام نفسه في ورقة بحثية قصيرة بعنوان 'ملاحظة حول مسألة القرار' (A Note on the Entscheidungsproblem). وكانت إجابة تشرتش أيضًا: 'لا توجد مثل هذه الطريقة'.

أصيب تورينغ بخيبة أمل شديدة عند سماعه نبأ توصل باحث آخر إلى النتيجة قبله في بحث كرّس له ما يقرب من عام. بيد أن نيومان نظر إلى بحث تورينغ نظرة مختلفة؛ فمع أن النتيجة كانت متطابقة، إلا أن الطريقين المؤديين إليها كانا متباينين. فقد كان حساب لمدا لدى تشرتش لغة دوال مجردة تبدل الرموز، بينما حاكت آلة تورينغ الطريقة التي يحسب بها الإنسان بدقة، مما مكّن أي شخص من إدراك ماهية 'الطريقة الآلية' كما لو كانت ماثلة أمام عينيه. ووجه نيومان رسالة إلى جمعية لندن للرياضيات أوضح فيها أن تورينغ أجرى أبحاثه بمفرده وباستقلال تام عن تشرتش، راجيًا بإلحاح نشر البحث، كما بعث برسالة إلى تشرتش يقدم له فيها تورينغ.

في 28 مايو 1936، تلقت جمعية لندن للرياضيات بحث تورينغ المعنون 'عن الأعداد القابلة للحساب، مع تطبيق على مسألة القرار' (On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem). وكان تورينغ حينها في الثالثة والعشرين من عمره. وفي أغسطس من ذلك العام، أضاف تورينغ ملحقًا في ختام البحث، تضمن برهانًا على أن ما يمكن حسابه بآلته يتطابق تمامًا مع ما يمكن التعبير عنه بحساب لمدا لتشرتش؛ ليثبت بذلك أن كلا الباحثين قد وصلا إلى قمة الجبل نفسها عبر مسارين مختلفين.

نشرت جمعية لندن للرياضيات هذا البحث في المجلد 42 من دوريتها 'وقائع جمعية لندن للرياضيات' (Proceedings of the London Mathematical Society) على دفعتين في 30 نوفمبر و23 ديسمبر 1936، وبلغ مجموع صفحاته 36 صفحة. وفي العام التالي، 1937، نشر تورينغ في الدورية نفسها مقالًا مقتضبًا لتصحيح بعض

الهفوات البسيطة.

وفي وقت لاحق، صاغ العلماء أطروحة مشتركة تجمع بين أفكار تشرتش وتورينغ أطلقوا عليها 'أطروحة تشرتش-تورينغ'. وتقوم هذه الأطروحة على فكرة أن كل ما يستطيع الإنسان حسابه بطريقة آلية يمكن حسابه بواسطة آلة تورينغ. وحتى يومنا هذا، يستند علم الحاسوب إلى هذه الرؤية لتحديد مفهوم 'قابل للحساب'.

5.3. مسألة التوقف والنموذج الأصلي للحاسوب الحديث

عرض تورينغ في القسم 6 من بحثه 'الآلة الشاملة' (universal machine).

كان لكل آلة من آلات تورينغ التي استعرضناها سابقًا وظيفة واحدة مخصصة لها؛ فالآلة التي تكتب 0 و 1 بالتناوب لا تؤدي إلا هذا العمل، والآلة التي تكتب π لا تكتب غير π. ولكي تُجرى عملية جمع كان يلزم وجود آلة جمع، ولكي يُجرى ضرب كان لا بد من وجود آلة ضرب منفصلة. وكانت آلات الحساب في العالم الواقعي على المنوال ذاته؛ فالآلات الحاسبة التي تُدار بالتروس المسننة لم تكن قادرة سوى على تنفيذ الحسابات المحددة سلفًا عند تصنيعها.

إلا أن تورينغ تقدم خطوة أخرى إلى الأمام؛ إذ كانت نقطة انطلاقه هي أن جدول قواعد أي آلة تورينغ يمكن تدوينه في نهاية المطاف كسلسلة من الرموز. فابتكر تورينغ طريقة

لتحويل جدول القواعد إلى سلسلة من الحروف، وأطلق عليها اسم 'الوصف القياسي' (standard description). ثم حوّل هذه السلسلة مجددًا إلى عدد كبير واحد أطلق عليه 'رقم الوصف' (description number). وبهذا تحولت كل آلة بمفردها إلى عدد واحد.

وإذا أمكن تدوين جدول القواعد في هيئة رموز، فإن من الممكن أيضًا وضع تلك الرموز على شريط آلة أخرى. واستثمر تورينغ هذه الخاصية لتصميم آلة فريدة؛ إذ يُدون جدول قواعد آلة أخرى في الجزء الأمامي من شريط هذه الآلة على شكل رموز، بينما توضع في الجزء الخلفي المدخلات التي يفترض بتلك الآلة حسابها. وتقرأ هذه الآلة الفريدة جدول القواعد في الجزء الأمامي سطرًا تلو الآخر، وتحاكي في الجزء الخلفي السلوك ذاته الذي كانت ستؤديه تلك الآلة. فإذا وُضع على الشريط جدول قواعد آلة جمع قامت بالجمع، وإذا وُضع جدول قواعد آلة π كتبت π. وقد أطلق تورينغ على هذه الآلة اسم 'آلة الحساب الشاملة'، وتُعرف في عصرنا الحاضر باسم 'آلة تورينغ الشاملة'. وذكر تورينغ في بحثه أنه بالإمكان صنع آلة واحدة تحسب أي متتالية قابلة للحساب.

وإذا صيغت هذه الفكرة بمصطلحات اليوم، فإنها تعني أننا لا نحتاج سوى إلى آلة واحدة فقط، في حين يحدد البرنامج طبيعة العمل الذي تؤديه. وهذا هو السبب في أن هاتفًا ذكيًا واحدًا يمكن أن يكون آلة حاسبة، وكاميرا، وجهاز ألعاب. فدون الحاجة إلى تغيير القطع داخل الهاتف الذكي، تتغير مهامه بمجرد تغيير التطبيقات. وقد طرح تورينغ هذا المبدأ رياضيًا في عام 1936، أي قبل ظهور الحواسيب الإلكترونية العامة الأغراض.

وهناك جانب آخر يلفت الانتباه في الآلة الشاملة؛ فالآلة الشاملة تدون 'الأوامر' و'البيانات' بالرموز نفسها على الشريط ذاته؛ أي إن الأوامر في جوهرها نوع من البيانات. واليوم، تعمل الحواسيب بوضع البرامج والبيانات معًا في الذاكرة نفسها، وتُعرف هذه الطريقة بـ 'مفهوم البرنامج المخزن'. وتعتبر آلة تورينغ الشاملة المنطلق النظري لهذه الطريقة.

كانت آلة تورينغ لعام 1936 آلة متخيلة دون شريط فعلي ولا رأس مادي، غير أن هذا الخيال ما لبث أن غدا حقيقة واقعة. ففي الفترة ما بين عامي 1945 و1946 بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية، صمم تورينغ حاسوبًا إلكترونيًا عُرف باسم ACE في المختبر الفيزيائي الوطني في بريطانيا. وفي يونيو 1948، نجحت آلة 'مانشستر بيبي' في جامعة مانشستر في تشغيل برنامج مخزن في الذاكرة لأول مرة. وتجري الحواسيب المحمولة والهواتف الذكية وحواسيب الذكاء الاصطناعي اليوم حسابات شتى عن طريق تبديل البرامج. وتعد آلة تورينغ الشاملة النموذج النظري الذي يفسر هذه القدرة الحسابية، بينما اضطلع العديد من الباحثين والمهندسين بتطوير بنية الحواسيب الحقيقية وتصميم مكوناتها.

وبالعودة مجددًا إلى بحث عام 1936، كانت الآلة الشاملة هي الأداة التي استخدمها تورينغ للإجابة عن مسألة القرار. وبامتلاكه الآلة الشاملة، انطلق تورينغ في البحث عما لا تستطيع الآلة إنجازه؛ إذ كان يلزمه، ليجيب عن مسألة القرار بـ 'لا'، أن يقدم مسألة واحدة تعجز أي آلة عن حلها.

صنف تورينغ الآلات في البداية إلى فئتين: إحداهما آلة تستمر في تدوين الأرقام العشرية

بلا انقطاع، والأخرى آلة تكتب عددًا محدودًا فقط من أصفار وآحاد ثم تعجز عن تدوين المزيد من الأرقام. ولا تشمل الفئة الأخيرة الآلات التي تتوقف تمامًا في أثناء عملها فحسب، بل تمتد لتشمل أيضًا تلك التي تواصل حركتها دون أن تتمكن من إنتاج مزيد من الأرقام. وسمى تورينغ الفئة الأولى 'آلة خالية من الدورات' (circle-free machine)، والفئة الثانية 'آلة دورية' (circular machine). ثم تساءل عما إذا كان بالإمكان بناء آلة تقرير تتلقى رقم الوصف لأي آلة وتحدد دائمًا ما إذا كانت تلك الآلة خالية من الدورات أم دورية.

وكانت إجابة تورينغ: 'لا يمكن صنعها'. وقد جاء برهان تورينغ الأصلي متدرجًا بتعقيد ملحوظ حول هذه المسألة التي تفصل بين الآلات الدورية والآلات الخالية من الدورات. واليوم، غالبًا ما تُستعمل 'مسألة التوقف' (halting problem) ذات الصلة لشرح حدود الحساب. وتنص مسألة التوقف على أنه يستحيل صنع برنامج قادر دائمًا على الإفادة، لأي برنامج ومدخلات محددة، بما إذا كان ذلك البرنامج سينهي مهمته ويتوقف يومًا ما، أم أنه لن يتوقف أبدًا. ولم يرد في بحث تورينغ مصطلح 'مسألة التوقف'، إلا أنها أصبحت فيما بعد شرحًا شائع الاستخدام في نظرية قابلية الحساب.

ويجري برهان مسألة التوقف على النحو الآتي: لنفترض وجود آلة تقدم دائمًا إجابة حاسمة عند تزويدها ببرنامج ومدخلات، وتحدد بدقة ما إذا كان تنفيذه سيتوقف. وباستخدام آلة التقرير هذه، ننشئ برنامجًا جديدًا يسلك مسلكًا معاكسًا تمامًا. فإذا تلقى هذا البرنامج الجديد رقم برنامج ما، فإنه يسأل آلة التقرير عما إذا كان ذلك البرنامج سيتوقف في حال إدخال رقمه الخاص فيه كمدخلات. وإذا جاءت الإجابة 'سيتوقف'،

استمر البرنامج الجديد في العمل بلا نهاية، وإذا جاءت الإجابة 'لن يتوقف'، توقف في التو واللحظة. والآن، نُدخل رقم البرنامج الجديد في البرنامج الجديد نفسه؛ فإذا قضت آلة التقرير بأنه سيتوقف، فإن البرنامج الجديد لن يتوقف، وإذا قضت بأنه لن يتوقف، فإنه سيتوقف. وفي كلا التقديرين يثبت خطأ التوقع؛ وعليه، فإن الفرضية الأولى التي تفترض إمكانية التحديد الدقيق لجميع البرامج ومدخلاتها لا يمكن أن تصح.

يشبه هذا البرهان عبارة 'أنا أكذب الآن'؛ فإذا كانت هذه العبارة صادقة فهي كذبة، وإذا كانت كاذبة فهي صدق؛ إذ تؤدي الإشارة إلى الذات إلى التناقض. وقد صقل تورينغ هذه الفكرة رياضيًا بالاستناد إلى 'البرهان القطري' الذي وضعه عالم الرياضيات الألماني غيورغ كانتور (Georg Cantor) أثناء بحثه في اللانهاية.

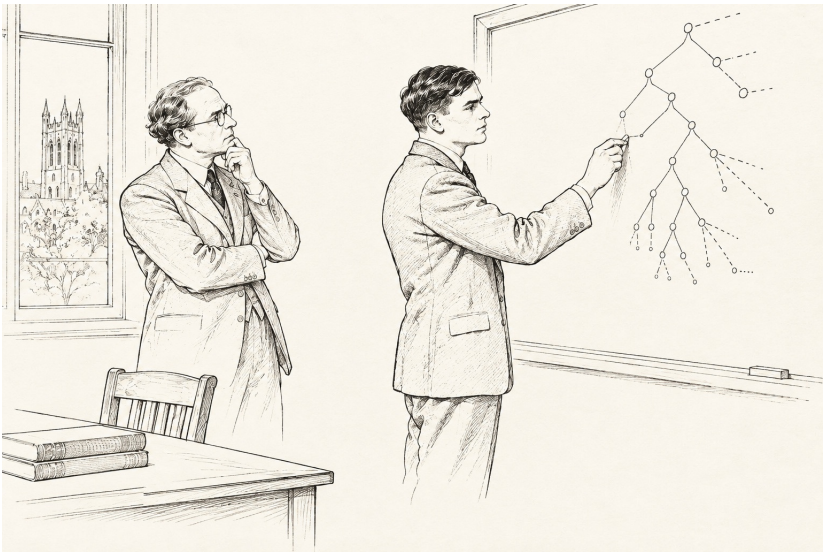
ولم يكتفِ تورينغ بهذا، بل أثبت أيضًا أن مسألة التحقق مما إذا كانت آلة معينة ستكتب 0 على الشريط ولو لمرة واحدة هي مسألة لا يمكن حلها بآلة. ثم صاغ هذه المسألة في قالب عبارة منطقية من تلك التي تناولها هيلبرت. فلو كانت هناك طريقة آلية لحل مسألة القرار، لكان لا بد أن تتيح تلك الطريقة حل مسألة 'هل تكتب هذه الآلة 0؟' أيضًا، غير أن هذه المسألة غير قابلة للحل. ومن ثم، فلا توجد طريقة آلية تحدد في جميع الحالات ما إذا كانت عبارات منطق الرتبة الأولى قابلة للإثبات. وكانت الإجابة التي قدمها تورينغ لمسألة القرار لهيلبرت هي: 'مستحيل'.

ولم تخلف هذه النتيجة خيبة أمل فحسب لدى علماء الرياضيات؛ فمعرفة ما يعجز الحساب عن إدراكه لا تقل نفعًا عن معرفة ما يمكن حسابه. ويدرك المبرمجون في عصرنا

الحاضر استحالة بناء برنامج فحص يكتشف كل أخطاء البرامج دون استثناء؛ ولذلك يجمعون بين وسائل الاختبار المتكرر والفحص المتعدد. وقد غدت أبحاث تشرتش وتورينغ ركيزة لفهم قدرات الحساب وحدوده معًا.

وفي سبتمبر 1936، ركب تورينغ متن سفينة وعبر المحيط الأطلسي متوجهًا إلى برينستون في الولايات المتحدة، للقاء ألونزو تشرتش الذي سبقه في حل مسألة القرار ولإجراء بحوث مشتركة معه.

الفصل 6. الدراسة في برينستون وآلة الأوراكل (1936–1938)



الشكل 6. إعادة تمثيل لمشهد دراسة المنطق في برينستون.

في ربيع عام 1936، قدم آلان تورينغ، الذي كان زميل بحث شابا في كلية كينغز في كامبريدج، إجابة لمسألة القرار لهيلبرت من خلال آلة تخيلها في ذهنه. غير أنه في الوقت ذاته تقريبا، توصل عالم المنطق ألونزو تشرتش من جامعة برينستون في الولايات المتحدة إلى النتيجة نفسها بطريقة مختلفة تماما. وبذلك تأخر تورينغ بخطوة. ومع ذلك، رأى ماكس نيومان، الذي درّس تورينغ في كامبريدج، في هذا الأمر فرصة بدلا من ذلك. فقد كان لدى تورينغ عادة البحث بمفرده، واعتقد نيومان أنه سينمو بشكل كبير إذا تعلم إلى جانب تشرتش، الذي درس المسألة نفسها بعمق. لذلك رتب نيومان لتورينغ الذهاب إلى برينستون والتعلم من تشرتش.

في ذلك الوقت، لم تكن برينستون مكانا يقتصر على تشرتش وحده. ففي منتصف ثلاثينيات القرن العشرين، عندما استولى هتلر والنازيون على السلطة في ألمانيا، خيمت ظلال مظلمة على الأوساط الأكاديمية الأوروبية. وعبر المحيط الأطلسي علماء بارزون كانوا يعملون في غوتينغن وبرلين وفيينا فرارا من الاضطهاد، واستقر كثير منهم في بلدة برينستون الجامعية الصغيرة بولاية نيوجيرسي الأمريكية. ومع توافد أفضل علماء الرياضيات في العالم إلى جامعة برينستون ومعهد الدراسات المتقدمة الذي افتتح حديثا، أصبحت برينستون العاصمة الجديدة للرياضيات.

استمرت دراسته في برينستون، التي بدأت على هذا النحو، قرابة عامين من سبتمبر 1936 حتى صيف 1938. وخلال هذه الفترة، حصل تورينغ على درجة الدكتوراه، وقدم فكرة جديدة تسمى آلة الأوراكل، وصنع آلة كهربائية بيديه. وفي النهاية، اتخذ قرارا مهما غير مسار حياته.

6.1. البحث مع تشرتش ودرجة الدكتوراه

في أواخر سبتمبر 1936، عبر تورينغ المحيط الأطلسي على متن سفينة الركاب بيرنغاريا. ولم يهدأ تورينغ حتى وهو على متن السفينة؛ إذ قاس ارتفاع الشمس والنجوم باستخدام أداة تسمى السدسية وحسب بنفسه المكان التقريبي الذي كانت السفينة تبحر فيه. والسدسية هي أداة كان البحارة القدامى يستخدمونها لتحديد مواقعهم في عرض البحر. وكتب تورينغ عن هذا الأمر في رسالة أرسلها إلى والدته سارة تورينغ. وكان هذا تصرفا يشبه تورينغ تماما، الذي أحب منذ صغره أن يصنع كل شيء بنفسه ويتحقق منه شخصيا.

عند وصوله إلى نيويورك، حط تورينغ رحاله في سكن الدراسات العليا بجامعة برينستون. وفي ذلك الوقت، كان قسم الرياضيات في برينستون يقع في مبنى يسمى فاين هول. وكان قسم الرياضيات بالجامعة ومعهد الدراسات المتقدمة يتشاركان هذا المبنى، حيث كان يقام وقت لتناول الشاي بعد ظهر كل يوم. وكان العلماء يجتمعون حاملين فناجين الشاي لتبادل الآراء بحرية حول المسائل الرياضية. وفي 6 أكتوبر 1936، كتب تورينغ في رسالة إلى والدته أسماء العلماء الذين التقى بهم هناك: جون فون نيومان، وهيرمان فايل، وريتشارد كورانت، وجودفري هاردي، وألبرت أينشتاين، وسولومون ليفشيتز، إضافة إلى مشرفه ألونزو تشرتش. لقد كان العلماء الذين تظهر أسماؤهم في الكتب المدرسية موجودين بجواره مباشرة.

بدأ تورينغ دراسة الدكتوراه تحت إشراف تشرتش. ورغم أن الرجلين أجابا عن المسألة

نفسها، إلا أن طريقتيهما في التعامل مع الحساب كانتا مختلفتين. فقد بحث تشرتش في الحساب باستخدام طريقة تسمى حساب لامدا. وحساب لامدا هو طريقة لإنشاء الدوال وحسابها باستخدام الرموز والقواعد فقط. أما تورينغ فحل المسألة نفسها من خلال تخيل آلة تقرأ وتكتب خانة تلو الأخرى على شريط. ورغم اختلاف المسارين، إلا أن المكان الذي وصلا إليه كان واحدا.

لكن الحياة في برينستون لم تكن باهرة منذ البداية. ففي ديسمبر 1936، قدم تورينغ عرضا عن ورقته البحثية "عن الأعداد القابلة للحساب" في النادي الرياضي بناء على تشجيع من تشرتش. ومع ذلك، لم يأت سوى عدد قليل من الحضور للاستماع إلى المحاضرة؛ إذ كان اسم تورينغ لا يزال غير معروف إلا لقلة من الناس. شعر تورينغ بخيبة أمل، لكنه لم يتوقف عن أبحاثه.

كان تشرتش هو من أوضح بجلاء مزايا طريقة تورينغ؛ إذ أقر تشرتش بأن طريقة تورينغ كانت أسهل بكثير للفهم وأكثر حدسية. وفي عام 1937، أطلق تشرتش لأول مرة اسم آلة تورينغ على الآلة التي تخيلها تورينغ، وذلك في مراجعة تقدم ورقته البحثية. وهكذا نشأ هذا الاسم الذي يظهر اليوم في كتب علوم الحاسوب في شتى أنحاء العالم.

في تلك الفترة تقريبا، أدرك علماء الرياضيات أن نطاق ما يمكن حسابه بواسطة حساب لامدا لتشرتش، والدوال العودية التي طورها كورت غودل، وآلة تورينغ، متطابق تماما. والدوال العودية هي طريقة لإنشاء دوال أكثر تعقيدا بدءا من دوال بسيطة وتطبيق قواعد محددة بشكل متكرر. كان الأمر كما لو أن ثلاثة أشخاص صعدوا جبلا من طرق

مختلفة لكنهم وصلوا جميعا إلى القمة نفسها. ونظرا لأن الطرق الثلاث ذات نقاط الانطلاق المختلفة تماما بلغت النطاق ذاته، رأى علماء الرياضيات أن كل ما يمكن للإنسان حسابه باتباع إجراءات محددة يمكن حسابه أيضا بواسطة آلة تورينغ. وتسمى هذه الفكرة أطروحة تشرتش-تورينغ. وبفضل ذلك، أصبح من الممكن مقارنة طرق الحساب المختلفة وفق معيار واحد.

لم تقتصر أبحاث تورينغ على المنطق فحسب، بل درس أيضا نظرية الزمر، وهي فرع آخر من فروع الرياضيات. وتتعامل نظرية الزمر مع كائنات مترابطة بقواعد معينة مثل الأعداد والتماثل. ونشر تورينغ نتائج تلك الأبحاث في أوراق بحثية متعددة.

حظيت إنجازات سنته الأولى بتقدير كبير. فاختارته جامعة برينستون زميلا زائرا لجين إليزا بروكتر في سنته الثانية الممتدة من 1937 إلى 1938. وبفضل هذا المنصب، استطاع تورينغ التفرغ التام لأبحاثه دون القلق بشأن الرسوم الدراسية ونفقات المعيشة. وتشير سجلات جمعية الحاسوب التابعة لمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE Computer Society) أيضا إلى أن تورينغ قضى عامين في برينستون من 1936 إلى 1938، وعمل في سنته الثانية زميلا لبروكتر وأجرى أبحاثه بالتعاون مع تشرتش.

6.2. آلة الأوراكل والمنطق الترتيبي

لفهم المسألة التي تناولها تورينغ في أطروحة الدكتوراه، يتعين علينا أولا العودة إلى عام 1931. في ذلك العام، أثبت عالم الرياضيات النمساوي الشاب كورت غودل حقيقة هزت

مجتمع الرياضيات. ومفادها أنه إذا كان هناك نظام قواعد قادرا على احتواء الحساب الأساسي مثل جمع وضرب الأعداد الطبيعية، وكانت قواعده واضحة بدرجة تتيح لآلة تعدادها واحدة تلو الأخرى، وكان النظام في حد ذاته خاليا من التناقض، فإنه سيحتوي حتما على عبارات صحيحة لكن لا يمكن إثباتها باستخدام تلك القواعد وحدها. ويطلق على هذا مبرهنة غودل لعدم الاكتمال.

يمكن تشبيه بديهيات هذا النظام الرياضي بكتاب قواعد للعبة ما. ففي نظام يستوفي الشروط الموضحة أعلاه، تتبقى عبارات لا يمكن البت فيها بالاعتماد على كتاب القواعد وحده. وإذا كان الأمر كذلك، فمن الممكن التفكير في طريقة لكتابة قاعدة إضافية لحل هذا الوضع. وكان هذا بالتحديد هو الأسلوب الذي بحثه تورينغ بعمق. فعند إضافة العبارة الصحيحة التي لم تكن قابلة للإثبات بوصفها قاعدة جديدة، يصبح كتاب القواعد أقوى قليلا. غير أن كتاب القواعد الجديد يظل مستوفيا للشروط السابقة نفسها، وبالتالي تنشأ فيه مجددا عبارة غير قابلة للإثبات. وعندئذ تضاف تلك العبارة أيضا. وهكذا يستمر توسيع كتاب القواعد خطوة تلو الأخرى.

تتوالى هذه الخطوات بلا نهاية مثل 1، 2، 3. ومع ذلك، لم يتوقف تورينغ عند هذا الحد. فقد رأى عالم الرياضيات الألماني غيورغ كانتور أن اللانهاية يمكن ترتيبها أيضا؛ إذ تسمى المرتبة الأولى التي تأتي بعد تجاوز 1 و2 و3 كلها أوميغا، وتسمى المرتبة التالية أوميغا زائد 1، وهكذا دواليك. وتسمى هذه الترتيبات التي تمتد حتى إلى ما بعد اللانهاية بالأعداد الترتيبية فوق المنتهية. وأنشأ تورينغ نظاما يوسع كتاب القواعد بشكل لا نهائي وفقا لهذه الأعداد الترتيبية، وأطلق عليه اسم المنطق الترتيبي. ثم بحث فيما إذا كان

كتاب القواعد الذي يزداد قوة بلا نهاية قادرا على سد الثغرات التي كشف عنها غودل.

لم تكن النتيجة مثالية. فقد أوضح تورينغ بنفسه أنه حتى بهذه الطريقة لا يمكن سد جميع الثغرات بالكامل. ولكن في هذا المسار، ترك ملاحظات مهمة حول الطريقة التي يفكر بها عالم الرياضيات. فقد رأى تورينغ أن هناك قدرتين تعملان معا في الاستدلال الرياضي: إحداهما البراعة، والأخرى الحدس. فالبراعة هي القدرة على متابعة البرهان خطوة بخطوة وفقا لقواعد محددة، وهو أمر يمكن لآلة، مثل آلة تورينغ، أن تقوم به نيابة عن الإنسان. أما الحدس فهو القدرة على إدراك القواعد الجديدة التي ينبغي إضافتها، وتمييز العبارات الصحيحة من نظرة واحدة. وأوضح تورينغ أنه بالنظر إلى مبرهنة غودل، لا يمكن إكمال الرياضيات بأكملها بالاعتماد على البراعة وحدها، بل لابد من الحاجة إلى الحدس في مرحلة ما. وهذا السؤال حول وجه الاختلاف بين تفكير الآلة وتفكير الإنسان ظل يرافق تورينغ طوال حياته بعد ذلك.

ثمة جزء آخر في هذه الورقة البحثية هو الأكثر شهرة اليوم، وهو آلة الأوراكل. ولم يستخدم تورينغ نفسه آلة الأوراكل إلا لفترة وجيزة كأداة للمساعدة في براهين ورقته، ولم يبحث فيها بشكل أعمق. وتعني كلمة "أوراكل" في الأصل كاهن المعبد الذي كان الإغريق القدماء يستفتونه لمعرفة مشيئة الآلهة، أي النبوءة أو الوحي. وتخيل تورينغ وجود مساعد شبيه بهذا الوحي ملحق بآلة تورينغ العادية. والأوراكل هو جهاز افتراضي يقدم إجابات دقيقة لنوع محدد مسبقا من الأسئلة. ومن الأمثلة المعاصرة، يمكننا تصور أوراكل يجيب عن مسألة التوقف للبرامج العادية، بافتراض أنه إذا زُوِّد ببرنامج ومدخلات فإنه يخبرك بما إذا كان سيتوقف يوما ما. وكان هذا إعدادا يهدف إلى معرفة المدى الذي

يمكن أن تصل إليه حلول المسائل التي لا تستطيع آلة تورينغ العادية الإجابة عنها في جميع الحالات، وذلك بوجود مثل هذه المساعدة.

إن طريقة عمل آلة الأوراكل بسيطة؛ فهي تعمل في الأحوال العادية مثل آلة تورينغ العادية، حيث تقرأ وتكتب على الشريط وتجري الحسابات. وعندما يحين دور طرح سؤال على الأوراكل وفقا لجدول القواعد، ترسل نوع السؤال المحدد مسبقا وتتلقى الإجابة لمواصلة الحساب. ولا يعتبر الأوراكل جهازا حقيقيا تم اكتشافه، بل هو مجرد افتراض لأغراض البحث؛ ولذلك لا يُشرح هنا المبدأ الفيزيائي الذي يُنتج الإجابة.

فتح هذا الخيال مسارا جديدا في الرياضيات. فبفضل آلة الأوراكل، أصبح بمقدور علماء الرياضيات طرح أسئلة جديدة؛ فإذا وُجد مساعد يقدم إجابة المسألة A، فيمكن بحث ما إذا كان من الممكن حل المسألة B أيضا بمساعدة ذلك العون. ويسمى هذا القابلية النسبية للحساب. ولتشبيه ذلك باختبار في الرياضيات، فهو يشبه معرفة ما إذا كان العلم بإجابة المسألة السابقة يتيح حل المسألة اللاحقة. وبهذه الطريقة، يمكن مقارنة القدرة الحسابية بين المسائل. ومع ذلك، لا يمكن ترتيب جميع المسائل في خط واحد؛ إذ توجد علاقات لا يمكن فيها حل إحدى المسألتين حتى باستخدام إجابة الأخرى.

أظهر تورينغ أن حدود الحساب لا تختفي حتى مع إضافة أوراكل. وبشرح ذلك من خلال مسألة التوقف المعاصرة، لا يمكن دائما البت فيما إذا كانت جميع البرامج التي تستخدم أوراكل معينا ستتوقف بالاعتماد على مساعدة الأوراكل ذاته فقط. وحتى لو أُضيف نوع واحد من المساعدة، تظل هناك مسائل تتجاوز نطاقها.

وكان علماء لاحقون هم الذين طوروا بدرجة كبيرة هذه الفكرة التي مر بها تورينغ سريعا. فمن خلال أبحاث علماء من بينهم عالم المنطق الأمريكي إميل بوست، ظهرت مفاهيم مثل درجات تورينغ، التي تصنف صعوبة المسائل إلى مراحل، واختزال تورينغ، الذي يحل مسألة ما عن طريق تحويلها إلى مسألة أخرى. وتضرب الطرق التي يستخدمها علماء الحاسوب اليوم لمقارنة صعوبة المسائل بجذورها في هذه الفكرة.

أتم تورينغ أطروحته وأرسلها في أواخر مايو 1938 إلى جمعية لندن الرياضية. وفي يونيو 1938، نال درجة الدكتوراه من جامعة برينستون. وكان عنوان الأطروحة "أنظمة منطقية قائمة على الأعداد الترتيبية". وبعد تنقيح هذه الورقة، نُشرت عام 1939 في "وقائع جمعية لندن الرياضية"، المجلد 45، في 68 صفحة.

6.3. قرار العودة إلى الوطن

لم يكن تورينغ في برينستون مقتصرا على الورقة والقلم فحسب؛ إذ امتدت اهتماماته إلى ما وراء المنطق، وكان التشفير أحد هذه الاهتمامات. وتضمنت رسالة مؤرخة في 14 أكتوبر 1936، بعد وقت قصير من وصوله إلى برينستون، محتوى مثيرا للاهتمام؛ إذ تساءل تورينغ عن الشكل الأكثر عمومية للتشفير، وأخبر والديه بأنه كان يبتكر شفرة يصعب على الآخرين فكها ولكن يمكن إنشاؤها بسرعة. وفي ذلك الحين، لم يكن أحد يعلم أن هذا الاهتمام سيقود تورينغ بعد بضع سنوات إلى خضم الحرب.

لم يُبقِ تورينغ أفكاره على الورق فقط. فقد كان منذ طفولته صبيا يصلح أقلام الحبر

ويصنع أدوات التجارب الكيميائية بنفسه. وفي برينستون، استمرت تلك العادة كما هي؛ إذ استعار تورينغ ورشة الآلات في قسم الفيزياء وصنع بنفسه مرحلات لتُستخدم كمفاتيح كهربائية.

المُرَحِّل هو مفتاح كهربائي كان يُستخدم في مقاسم الهواتف في ذلك الوقت. فعندما يسري التيار الكهربائي، يجذب مغناطيس كهربائي صغير قطعة معدنية لتوصيل الدائرة، وعندما ينقطع التيار، تنفصل القطعة المعدنية فتنقطع الدائرة. ولا يوجد سوى حالتين: التشغيل والإيقاف. ولاحظ تورينغ إمكانية النظر إلى هاتين الحالتين كرقمين: 1 و0. وتسمى طريقة تمثيل جميع الأعداد باستخدام الرقمين 0 و1 فقط بالنظام الثنائي. وبدأ تورينغ في ربط المرحلات بالأسلاك ولحامها لصنع آلة تجري الضرب بالنظام الثنائي. وقد أكمل بالفعل ثلاث أو أربع مراحل من الآلة بأكملها. ويوضح كاتب السيرة أندرو هودجز أن هذه الآلة الضاربة كانت مرتبطة بفكرة تورينغ لتوليد الشفرات عن طريق ضرب أعداد كبيرة. وهكذا أجرى تورينغ تجارب لصنع أجهزة حسابية فعلية إلى جانب أبحاثه النظرية في الحساب.

في ذلك الوقت تقريبا، وجه تورينغ اهتمامه أيضا إلى لغز قديم في الرياضيات هو فرضية ريمان. وفرضية ريمان هي مسألة تتعلق بكيفية توزع الأعداد الأولية وفق نمط ما. والعدد الأولي هو عدد طبيعي أكبر من 1 ولا يقبل القسمة إلا على 1 وعلى نفسه فقط، ولا تزال فرضية ريمان دون حل حتى يومنا هذا. وتصور تورينغ آلة تستخدم التروس لإجراء الحسابات المتعلقة بهذه المسألة، وبعد عودته إلى بريطانيا عام 1939، رسم مخططاتها بالفعل وبدأ في خراطة التروس. إلا أن هذه الآلة لم تكتمل بسبب اندلاع الحرب.

وكان جون فون نيومان من بين أولئك الذين تابعوا أبحاث تورينغ في برينستون باهتمام. وفون نيومان عالم رياضيات مجري الأصل، خلد اسمه لاحقا بوصفه الشخص الذي وضع أسس بنية الحاسوب الحديث. وكان الاثنان قد التقيا لأول مرة في كامبريدج عام 1935، وجدد تورينغ علاقته بفون نيومان في برينستون. وقد لاحظ فون نيومان باهتمام أن تورينغ قد حقق أيضا نتائج جديدة في نظرية الزمر المتصلة، التي كانت مجال بحثه الرئيسي.

في عام 1938، وعندما كان تورينغ على وشك إنهاء برنامج الدكتوراه، قدم له فون نيومان عرضا، وهو أن يبقى في الولايات المتحدة ويعمل مساعدا بحثيا له في معهد الدراسات المتقدمة في برينستون. وكان هذا المنصب يوفر بيئة بحثية مريحة، وفرصا للبحث المشترك مع علماء من الطراز العالمي، ومستقبلا مستقرا. وكان يوليوس تورينغ، والد تورينغ، يأمل أيضا أن يستقر ابنه في الولايات المتحدة بعيدا عن أوروبا التي كانت تزداد خطورة.

لكن تورينغ رفض هذا العرض. ففي 17 مايو 1938، أبلغ والدته في رسالة بأنه عُرض عليه منصب مساعد للأستاذ فون نيومان لكنه رفضه وقرر العودة إلى كامبريدج.

كان لقرار تورينغ بالعودة عدة أسباب. أولا، كانت الأوضاع في أوروبا تتدهور بسرعة؛ ففي مارس 1938، ضم هتلر النمسا إلى ألمانيا، وسرعان ما هدد تشيكوسلوفاكيا بعدها. وشعر كثير من الناس بأن حربا كبرى باتت وشيكة.

ثانيا، كانت كلية كينغز في كامبريدج الموطن الأكاديمي لتورينغ. فقد كانت كلية كينغز

مكانا أتاح لتورينغ في ظل أجوائها الحرة أن يعيش على طبيعته ويكون كما هو. وفي ربيع عام 1938، جددت كلية كينغز زمالة تورينغ. وتذكر مجلة خريجي برينستون أيضا أن تورينغ كان يشعر بالحنين إلى وطنه. ويشير أحد قواميس السير إلى أن تورينغ اختار العودة على الرغم من عدم وجود وظيفة محاضر له في كامبريدج.

في صيف عام 1938، عاد تورينغ إلى كامبريدج حاملا شهادة الدكتوراه. ولم تكن قاعات محاضرات الرياضيات وحدها في انتظاره؛ فقد استدعت مدرسة الشفرات والرموز الحكومية، وهي الهيئة السرية البريطانية للتشفير، تورينغ للاستعداد للحرب القادمة مع ألمانيا. وتلقى تورينغ تدريبا على فك التشفير هناك بعد عودته، وبدأ في تقديم المساعدة في العمل دون إخبار أي شخص. والفضول حول التشفير الذي كتب عنه في رسالته من برينستون كان يوشك الآن أن يتحول إلى مهمة يتوقف عليها مصير البلاد.

خلال العامين اللذين قضاهما في برينستون، جمع تورينغ بين أبحاث المنطق وتجارب الأجهزة الحسابية. وأظهرت أطروحة الدكتوراه التي كتبها إلى جانب تشرتش مع آلة الأوراكل وجود مراحل ومراتب عديدة بين ما يمكن حسابه وما لا يمكن حسابه. وكانت آلة الضرب بالمرحلات، التي صنعها بيده في ورشة قسم الفيزياء، الخطوة الأولى نحو نقل الآلة المتخيلة في ذهنه إلى آلة واقعية. وقاده قراره بالعودة إلى بريطانيا، تاركا وراءه عرض فون نيومان، إلى بليتشلي بارك وإلى المعركة ضد شفرة إنيغما.

الفصل 7. دخول بليتشلي بارك وبداية حرب الشيفرات (1940–1938)



الشكل 7. رسم توضيحي للباحثين الذين تجمعوا في بليتشلي بارك.

عاد آلان تورينغ إلى بريطانيا في صيف عام 1938 بعد حصوله على درجة الدكتوراه من جامعة برنستون في الولايات المتحدة. وكان حينها في السادسة والعشرين من عمره وزميلاً في كينجز كوليدج بجامعة كامبريدج. ويُقصد بالزميل الباحث الأكاديمي الذي يقيم في الجامعة لإجراء الأبحاث وتدريس الطلاب.

كانت نُذر الحرب تخيم بثقل على أوروبا التي عاد إليها. ففي ربيع ذلك العام، ضم الزعيم الألماني هتلر النمسا إلى ألمانيا، ثم طالب بأراضٍ من تشيكوسلوفاكيا. وفي سبتمبر، أبرمت بريطانيا وفرنسا اتفاقاً مع هتلر في ميونخ بألمانيا يقضي بتسليم جزء من أراضي تشيكوسلوفاكيا إلى ألمانيا. ورغم أن هذا الخيار كان يهدف إلى تفادي الحرب، فإن كثيرين شعروا بأن اندلاع حرب كبرى بات وشيكاً.

في تلك الأثناء، طرأ تغيير على طبيعة عمل تورينغ. فحتى ذلك الحين، كان عالم رياضيات هادئاً يكتب المعادلات على السبورة ويبحث في آلات تخيلية. غير أن الحكومة البريطانية سعت إلى تكليفه بمهمة فك شيفرات العدو، فتولى تورينغ مهمة سرية لا يمكنه الإفصاح عنها لأحد. وقد بدأت تلك المهمة في سياق إعداد وكالة الشيفرات الحكومية للأفراد والمواقع استعداداً للحرب.

7.1. نداء مدرسة الترميز والشيفرات الحكومية

لتحقيق النصر في الحرب، لا بد للمرء أولاً من معرفة ما ينوي العدو فعله. مع دخول القرن

العشرين، باتت الجيوش تتبادل الأوامر عبر الاتصالات اللاسلكية. وبما أن موجات الراديو يمكن لأي شخص التقاطها، فقد عمدت الجيوش إلى تحويل الرسائل إلى شيفرات قبل إرسالها. وكان على الطرف الآخر فك تلك الشيفرات لمعرفة خطط العدو. وتُعرف مثل هذه المعارك التي تدور بعيداً عن الأنظار بحرب الشيفرات.

كانت الجهة المسؤولة عن هذه المهمة في بريطانيا هي مدرسة الترميز والشيفرات الحكومية. واسمها بالإنجليزية هو Government Code and Cypher School، وتُختصر إلى GC&CS. ورغم أن اسمها يضم كلمة مدرسة، فإنها لم تكن مكاناً لتعليم الطلاب، بل كانت وكالة استخباراتية تتولى سراً فك شيفرات الدول الأخرى. وهي الهيئة السابقة لمقر الاتصالات الحكومية (GCHQ)، وكالة الاستخبارات البريطانية الحالية. تأسست هذه الهيئة عام 1919، وتولى إدارتها التنفيذية لفترة طويلة أليستر دينيستون، وهو ضابط بحري سابق.

ومع اقتراب الحرب، كان على مدرسة الترميز والشيفرات الحكومية أن تُعد أمرين: أحدهما توفير الأفراد القادرين على مواجهة الشيفرات الجديدة، والآخر إيجاد موقع آمن للعمل أثناء الحرب.

الأول هو مسألة الأفراد. في ذلك الحين، كان معظم محللي الشيفرات في مدرسة الترميز والشيفرات الحكومية من علماء اللغات الكلاسيكية. وكان هؤلاء من دارسي اللغات القديمة مثل اللاتينية واليونانية، وبرعوا في استنتاج معاني الكلمات والجمل. غير أن الجيش الألماني كان يستخدم آلة تشفير تُدعى إنيجما. وخلافاً للشيفرات التي يبتكرها

الإنسان بالورقة والقلم، كانت إنيجما تخلط الحروف مرات لا حصر لها عبر دوائر كهربائية وعجلات. ورأى دينيستون أن المهارات اللغوية وحدها لا تكفي للتغلب على هذه الآلة. فأعد قائمة طوارئ للأشخاص الذين سيتم استدعاؤهم فور اندلاع الحرب. وضمت القائمة علماء رياضيات ومناطقة ولاعبي شطرنج بارعين من كامبريدج وأكسفورد. وأطلق دينيستون على هؤلاء وصف 'أشخاص من طراز الأساتذة'. وكان حشد بريطانيا لهذا العدد الكبير من علماء الرياضيات لفك الشيفرات أمراً نادراً في السابق.

اختير تورينغ في عام 1938 للانضمام إلى مدرسة الترميز والشيفرات الحكومية، وشارك في دورة تدريبية خاصة نظمتها المدرسة. وكان يواصل أبحاثه كالمعتاد في كامبريدج، مع التردد بين الحين والآخر على المقر الرئيسي في لندن للتشاور مع خبراء الشيفرات. ولم تكن الشيفرات مجالاً غريباً على تورينغ، إذ كان مهتماً بالشيفرات والرموز منذ أن كان طالباً. وفي برنستون، صنع بنفسه آلة صغيرة تقوم بعمليات الضرب بواسطة مفاتيح كهربائية. وفي الورقة البحثية التي نشرها عام 1936، ابتكر فكرة آلة تخيلية تقرأ الرموز وتكتبها وفقاً لقواعد محددة. وكانت قدرته على التعامل مع الآلات والرموز والقواعد في آن واحد مناسبة تماماً لمواجهة إنيجما.

المسألة التالية كانت مسألة الموقع. ففي حال اندلاع الحرب، كانت لندن معرضة للقصف، ولذا دعت الحاجة إلى نقل وكالة الشيفرات إلى ريف آمن. وفي مايو 1938، اشترى الأدميرال هيو سنكلير، رئيس جهاز الاستخبارات السرية البريطاني (MI6)، قصراً ريفياً وأراضي في باكينجهامشير شمال غربي لندن. وعندما أعلنت الحكومة عدم توفر ميزانية، دفع من ماله الخاص 6,000 جنيه إسترليني. وكان اسم القصر بليتشلي بارك. ونظراً

لوقوع بليتشلي بين أكسفورد وكامبريدج وقربها من محطة قطار وطرق رئيسية، فقد كانت موقعاً مثالياً لحشد الباحثين من الجامعتين.

وفي خريف العام نفسه، تجمع أفراد من جهاز الاستخبارات ومدرسة الترميز والشيفرات الحكومية في بليتشلي بارك. ولإخفاء هويتهم، أطلقوا على أنفسهم اسم 'جماعة صيد النقيب ريدلي'، بل جلبوا طهاة من فنادق فخمة في لندن ليتظاهروا بأنهم ضيوف يقضون عطلة نهاية الأسبوع. وفي خضم أزمة ميونخ، مارس هؤلاء العمل الفعلي على الشيفرات هناك استعداداً للحرب. ولاحقاً، أُطلق على بليتشلي بارك أيضاً الاسم الرمزي 'المحطة X'. ولم يكن الحرف X هنا يمثل الحرف الإنجليزي إكس، بل الرقم الروماني 10.

وهكذا دخلت هذه الترتيبات للأفراد والموقع حيز الاستخدام الفعلي في أواخر صيف عام 1939. ففي 15 أغسطس، غادرت مدرسة الترميز والشيفرات الحكومية لندن وانتقلت إلى بليتشلي بارك. وفي 1 سبتمبر، غزا الجيش الألماني بولندا، وبعدها بيومين، في 3 سبتمبر، أعلنت بريطانيا الحرب على ألمانيا. وبذلك اندلعت الحرب العالمية الثانية. وبدأ تورينغ عمله في بليتشلي بارك في 4 سبتمبر 1939، أي في اليوم التالي مباشرة لإعلان الحرب. واستأجر غرفة في 'نزل كراون' بقرية شينلي بروك إند الصغيرة الواقعة غرب بليتشلي، وأقام هناك حتى صيف عام 1944.

وقّع كل من جاء إلى بليتشلي بارك على تعهد بموجب 'قانون الأسرار الرسمية'. وكان ذلك التزاماً بألا يفشوا حتى لأفراد أسرهم بأي شيء رأوه أو سمعوه هناك. وحافظ تورينغ على هذا الوعد حتى النهاية. ولهذا السبب، لم يبدأ ما قام به خلال الحرب بالظهور للعالم شيئاً

فشيئاً إلا في سبعينيات القرن العشرين، بعد نحو 20 عاماً من وفاته.

7.2. الهدية التي تركها ديلي نوكس ومكتب الشيفرات البولندي

عند وصوله إلى بليتشلي بارك، انضم تورينغ إلى فريق أبحاث إنيجما بقيادة ديلي نوكس. واسم نوكس الحقيقي هو ألفريد ديلوين نوكس. وكان باحثاً درس الأدب اليوناني القديم في كينجز كوليدج مثل تورينغ، وخبيراً متمرساً في فك شيفرات العدو منذ الحرب العالمية الأولى. وخلال الحرب الأهلية الإسبانية عام 1937، ذاع صيته بعد فك شيفرة إنيجما التي استخدمتها البحرية الإيطالية. غير أن تلك الآلة كانت نموذجاً تجارياً ذا بنية أبسط من إنيجما العسكرية.

عمل فريق نوكس في كوخ صغير يقع في باحة الإسطبل خلف القصر. واستقر هناك مع نوكس كل من جون جيفريز، وآلان تورينغ، وبيتر توين. وكان الجميع يطلقون على هذا المبنى ببساطة اسم 'الكوخ'. وظل تورينغ يصارع إنيجما في هذا الكوخ منذ شتاء عام 1939 حتى أوائل العام التالي. ولم يمض وقت طويل حتى أفاد نوكس بأن تورينغ يطرح أفكاراً دون توقف.

بدت آلة إنيجما التي واجهوها للوهلة الأولى شبيهة بآلة كاتبة. فعند الضغط على حرف في لوحة المفاتيح، يسري التيار الكهربائي داخل الآلة، ويضيء حرف آخر على لوحة المصابيح في الأعلى. واحتوت الآلة في داخلها على ثلاث عجلات تُدعى 'الدوارات'.

وتضمنت الدوارات أسلاكاً متشابكة ومعقدة تقوم بتحويل الحرف إلى حرف آخر. ومع كل ضغطة على حرف، يتحرك الدوار الأيمن، وتدور الدوارات الأخرى أيضاً وفقاً لشروط محددة. وتبعاً لذلك تتغير حالة التوصيل السلكي المسؤولة عن تبديل الحروف، بحيث يؤدي تكرار الضغط على الحرف A نفسه إلى ظهور حروف مختلفة. وفي نهاية مجموعة الدوارات كان يوجد 'عاكس' يعيد إرسال التيار الكهربائي في الاتجاه المعاكس. وزُوّدت إنيجما العسكرية بجهاز إضافي يُدعى 'لوحة القوابس'، وهي لوحة تُوصَل فيها الأسلاك لتبديل حرفين أحدهما بالآخر.

لم تكن صعوبة فك الشيفرة تكمن في البنية الميكانيكية للآلة بقدر ما كانت تكمن في إعداداتها. ففي كل يوم، كان مسؤولو الإشارة في الجيش الألماني يجهزون الآلة وفقاً لإعدادات محددة. وكانوا يغيرون يومياً الدوارات المختارة وترتيب وضعها، وضبط الدوارات على أي حرف، وتوصيل أي فتحات في لوحة القوابس. وفي نحو عام 1939، بلغ عدد التوليفات المحتملة التي يمكن اختيارها نحو 159 كوينتيليون احتمال، وهو رقم يتكون من العدد 159 متبوعاً بـ 18 صفراً، وهو أكبر من حاصل ضرب 100 مليون في تريليون. وكان ذلك قدراً يستحيل على البشر إنجازه باختبار الاحتمالات واحداً تلو الآخر حتى لو استغرق الأمر ملايين السنين. وكان هذا هو السبب في إيمان الجيش الألماني بأن إنيجما آلة عصية على الاختراق.

غير أن أول من تغلب على هذه الآلة لم يكونوا البريطانيين، بل البولنديون. ولأن بولندا كانت تتشارك حدوداً مع ألمانيا، فقد كانت أشد قلقاً من أي طرف آخر بشأن تحركات الجيش الألماني. واختار مكتب الشيفرات البولندي ثلاثة شبان درسوا الرياضيات في

جامعة بوزنان، وهم: ماريان ريجيفسكي، وييجي روجيتسكي، وهنريك زيغالسكي. وتولى ريجيفسكي في خريف عام 1932 في وارسو مهمة دراسة آلة إنيجما العسكرية الألمانية، وحقق في ديسمبر من ذلك العام إنجازاً مهماً في فك الشيفرة. فقد استخدم نظرية رياضية تُعرف باسم 'التباديل' لكشف توصيلات الأسلاك داخل الدوارات. والتباديل مفهوم رياضي يتناول طرق ترتيب عدة عناصر بنظام معين. كما قدمت الوثائق التي حصل عليها جهاز الاستخبارات الفرنسي من عميل داخل قسم الشيفرات الألماني عوناً كبيراً. وبناءً على ذلك، صنعت بولندا نسخة طبق الأصل تحاكي آلة إنيجما تماماً.

واصل الفريق البولندي بعد ذلك قراءة شيفرات الجيش الألماني لعدة سنوات، وصنعوا بأنفسهم أدوات للمساعدة في فك الشيفرات. وفي خريف عام 1938، صنعوا آلة كهروميكانيكية للمساعدة في عمليات فك الشيفرات، وأُطلق على هذه الآلة اسم 'بومبا'، وهي كلمة تعني قنبلة باللغة البولندية. وتتعدد الروايات حول سبب إطلاق هذا الاسم عليها. كما ابتكر زيغالسكي طريقة تعتمد على تراكب ومطابقة عدة بطاقات ورقية مثقوبة، وأطلق الناس على هذه البطاقات اسم 'أوراق زيغالسكي'.

لكن الجيش الألماني لم يقف مكتوف الأيدي. ففي ديسمبر 1938، زاد الألمان عدد الدوارات المتاحة للاستخدام من ثلاثة إلى خمسة. ورغم أن عدد الدوارات التي توضع في الآلة ظل ثلاثة، إلا أنه بات يتعين اختيار ثلاثة من بين خمسة وتحديد ترتيبها. وبذلك تضاعفت طرق إدخال الدوارات عشر مرات، من 6 طرق إلى 60 طريقة. وفي يناير 1939، زادوا أيضاً عدد الأسلاك الموصولة بلوحة القوابس. ولمواكبة هذا التغيير، كان على الفريق البولندي أن يصنع عدداً من آلات بومبا يزيد عشر مرات عما لديه. وكان ذلك أمراً

يفوق طاقة ميزانية دولة صغيرة ومواردها البشرية.

ومع اقتراب الحرب، اتخذت بولندا قراراً مصيرياً. ففي 25 و26 يوليو 1939، اجتمع خبراء الشيفرات من بولندا وفرنسا وبريطانيا بالقرب من وارسو. وكان مكان الاجتماع منشأة سرية تابعة لمكتب الشيفرات البولندي في غابة بييري جنوب وارسو. وحضر من الجانب البريطاني دينيستون، رئيس مدرسة الترميز والشيفرات الحكومية، ونوكس، الذي كان يقود أبحاث إنيجما. وعرضت بولندا الإنجازات التي حققتها طوال تلك الفترة دون إخفاء أي شيء؛ فكشفت عن توصيلات الدوارات، وتصميم آلة بومبا، ومبادئ عمل أوراق زيغالسكي. كما سلمت نسخة مقلدة من آلة إنيجما لكل من بريطانيا وفرنسا.

أدرك ممثلو بريطانيا وفرنسا في هذا اللقاء أن بولندا كانت متقدمة عليهم بأشواط بعيدة. فلم تكن بولندا قد قرأت بالفعل العديد من رسائل الجيش الألماني فحسب، بل قامت بنفسها أيضاً بتصميم وصنع آلات كهربائية للمساعدة في فك الشيفرات. ووصلت النسخة المقلدة المخصصة لبريطانيا إلى لندن في منتصف أغسطس على يد ضابط الاستخبارات الفرنسي غوستاف برتراند، وكان ذلك قبل أسبوعين تقريباً من غزو ألمانيا لبولندا.

في كوخ بليتشلي بارك، عكف تورينغ على دراسة المواد التي سلمتها بولندا دراسة متأنية. وقد قدّر عالياً البراعة الرياضية التي تمتع بها ريجيفسكي. وفي الوقت نفسه، اكتشف نقطة ضعف كامنة في الطريقة البولندية. ففي ذلك الوقت، كان مسؤولو الإشارة في الجيش الألماني يكتبون في بداية كل رسالة ثلاثة أحرف تدل على موضع البداية للدوارات مرتين متتاليتين، وكانت تلك عادة تهدف إلى ضمان فهم الطرف المتلقي لها

دون أخطاء. واعتمدت بومبا البولندية وأوراق زيغالسكي على النمط الناجم عن هذا التكرار كخيط استدلالي. وتوقع تورينغ أنه إذا تخلى الألمان عن هذه العادة، فلن تعود الطريقة البولندية صالحة للاستخدام. وكان توقعه في محله، إذ ألغى الجيش الألماني هذا التكرار في مايو 1940.

لذلك بحث تورينغ عن مسار آخر لا يعتمد على التكرار في بداية الرسالة. ووجّه اهتمامه نحو الكلمات التي يُرجح وجودها داخل النص المشفر. فقد كانت رسائل الجيش الألماني تتكرر فيها عبارات مماثلة كل يوم، مثل كلمات النشرات الجوية، وأسماء الوحدات، وعبارات مثل 'لا شيء للإبلاغ عنه'. وأطلق محللو الشيفرات على هذه الأجزاء من النص الأصلي التي يمكن تخمينها مسبقاً اسم 'كريب'. ومن خلال مقارنة الكريب بالنص المشفر جنباً إلى جنب، يتم استبعاد العديد من إعدادات الآلة لعدم اتساقها. وأراد تورينغ أن تقوم آلة، بدلاً من الإنسان، باكتشاف هذا التناقض بسرعة. وكانت طريقة استخدام الكريب صالحة للاستمرار أياً كانت التغييرات التي يُدخلها الجيش الألماني على بداية الرسائل.

عمل تورينغ على تحسين تصميم هذه الآلة منذ خريف عام 1939 حتى نهاية العام. وأطلق على الآلة الجديدة اسم 'بومب' تكريماً لآلة بومبا البولندية.

في غضون ذلك، كان فريق الشيفرات البولندي قد غادر البلاد. فمع اندلاع الحرب، لجأ هؤلاء إلى فرنسا عبر رومانيا، وواصلوا فك شيفرات إنيجما بالتعاون مع فرنسا في قاعدة سرية تبعد نحو 40 كيلومتراً جنوب شرقي باريس. والتقى تورينغ بخبراء الشيفرات البولنديين شخصياً في باريس في يناير 1940، وحصل من هذا اللقاء على خيوط

إرشادية لدفع أبحاثه خطوة أخرى إلى الأمام.

انتقلت المخططات الهندسية لآلة بومب إلى المهندس هارولد كين من شركة آلات الجدولة البريطانية (BTM)، وهو الرجل الذي كان زملاؤه يلقبونه باسم 'دوك'. ووصلت أول آلة بومب إلى بليتشلي بارك في مارس 1940، وأطلق عليها العاملون اسم 'فيكتوري'، أي النصر.

7.3. الأستاذ غريب الأطوار في بليتشلي بارك

مع استمرار الحرب، تزايد عدد العاملين في بليتشلي بارك بسرعة. فبينما كانوا بضع عشرات في سبتمبر 1939، وصل عددهم مع نهاية الحرب إلى ما يقارب 10,000 شخص يعملون هناك. وعمل معاً علماء رياضيات ولغويون، ولاعبو شطرنج، وخبراء في الكلمات المتقاطعة، ومهندسو ميكانيكا، إضافة إلى أعداد غفيرة من الموظفات.

ومن بين هؤلاء الجمع الغفير، كان تورينغ يلفت الأنظار بسهولة. وكان زملاؤه ينادونه بلقب 'بروف'، وهو اختصار للكلمة الإنجليزية 'بروفيسور' التي تعني أستاذاً جامعياً. ورغم أن تورينغ لم يكن أستاذاً رسمياً، إلا أنه نال هذا اللقب بسبب مظهره الأكاديمي واستغراقه الدائم في التفكير. وكان يضع ما هو عقلاني ومنطقي في المقام الأول قبل الاكتراث بنظرة الآخرين إليه. وتوضح عدة روايات نقلها زملاؤه وكتّاب سيرته جوانب من هذه الشخصية.

القصة الأولى تدور حول قناع الغاز. كان تورينغ يعاني من حساسية شديدة تجاه حبوب اللقاح. ففي شهر يونيو من كل عام، كان يعاني من سيلان الأنف والعطس. وللوقاية من حبوب اللقاح أثناء تنقله بالدراجة بين المنزل والعمل، كان يرتدي قناع الغاز. ولأن البلاد كانت في حالة حرب، فقد تسلم الجميع أقنعة غاز تحسباً لهجمات الغازات السامة، لكن تورينغ استخدم قناعه ككمامة واقية من حبوب اللقاح. وتُروى حكايات عن أن أهل القرية كانوا يفزعون ظناً منهم أن خطباً ما قد وقع حين يشاهدونه يركب دراجته في الطرق الريفية وهو يرتدي قناع الغاز.

القصة الثانية تتعلق بسلسلة الدراجة. كانت دراجة تورينغ بها عطل يجعل السلسلة تفلت باستمرار. وكان الشخص العادي ليأخذها إلى ورشة إصلاح أو يستبدل السلسلة بأخرى جديدة. لكن تورينغ بحث أولاً عن النمط المنتظم الذي تفلت بموجبه السلسلة؛ إذ قام بعدّ عدد دورات الدواسة التي تفلت السلسلة عندها. وبعد ذلك، كان يعد دورات الدواسة في ذهنه، وقبل لحظات من إفلات السلسلة ينزل عن الدراجة ويضبطها ثم يواصل ركوبها. ويُحكى أيضاً أنه ثبّت لاحقاً في دراجته جهازاً صغيراً يعد دورات الدواسة تلقائياً. وتُبرز هذه الواقعة بوضوح عادته في البحث عن الدورية والأنماط حتى في مواجهة مجرد عطل بسيط.

القصة الثالثة هي قصة كوب الشاي. في بليتشلي بارك، كانت أكواب الشاي تختفي كثيراً. ولحماية كوبه الخاص، وضع تورينغ قفلاً على مقبضه وربطه بسلسلة في أنبوب الراديياتير. والراديياتير هو جهاز تدفئة يمرر الماء الساخن لتدفئة الغرفة. وقد بقيت صورة استخدامه لسلسلة وقفل لحماية مجرد كوب عالقة في ذاكرة زملائه لوقت طويل.

القصة الرابعة عن الركض. كان تورينغ يستمتع بالركض لمسافات طويلة. وحين كان يرهقه العمل أو تتعقد أفكاره، كان يركض طويلاً في الطرق الريفية المحيطة ببليتشلي. ويُروى أنه ركض ذات مرة مسافة 64 كيلومتراً (40 ميلاً) تقريباً من بليتشلي بارك إلى لندن لحضور اجتماع. وبعد انتهاء الحرب، طوّر مهاراته إلى الحد الذي مكّنه من المشاركة في سباقات الماراثون.

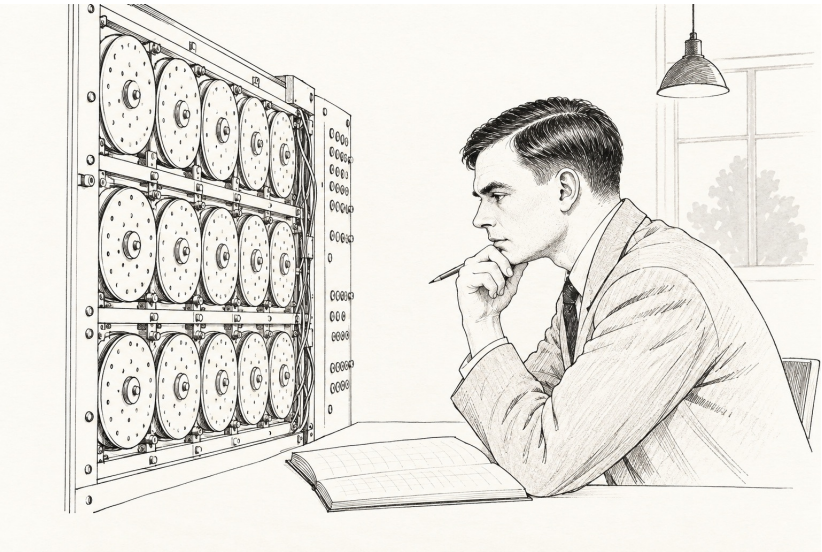
قد يبدو تورينغ شخصاً غريب الأطوار عند سماع هذه القصص فحسب، غير أن تصرفاته كانت تستند دائماً إلى منطق خاص به. فإذا كان قناع الغاز يقي من حبوب اللقاح ارتداه، وإذا عرف دورة إفلات السلسلة تصرف بناءً عليها. وهذا الموقف الذي يضع المبادئ والأسس قبل نظرة الناس انعكس تماماً في تعامله مع إنيجما؛ فبينما كان الآخرون يصفونها بأنها آلة عصية على الكسر، عكف تورينغ بهدوء على البحث عن القواعد التي تعمل بها ونقاط ضعفها.

وكان بليتشلي بارك مكاناً يستوعب مثل هؤلاء غريبي الأطوار. ففي هذا المكان، كانت الكفاءة والأفكار تتقدم على المظهر والبروتوكولات الرسمية. وكان نوكس نفسه رجلاً اشتهر بتصرفاته الفريدة، وضمت بليتشلي بارك العديد من الشخصيات ذات الطباع المتميزة. وفي مثل هذه الأجواء، أتيح لتورينغ أن يفكر ويحسب بحرية مطلقة ويطلق العنان لقدراته.

بين صيف عام 1938 وشتاء عام 1939، تغيرت حياة تورينغ تغيراً جذرياً. فتحول عالم الرياضيات الذي كان يبحث في آلات تخيلية على الورق إلى محلل شيفرات يواجه آلات

حقيقية. ولم يشق هذا الطريق بمفرده؛ فقد كان هناك علماء الرياضيات البولنديون الذين مهدوا الطريق أمامه، وكان هناك نوكس الذي شاركه خبرته الطويلة، ودينيستون الذي أدرك قوة علماء الرياضيات واستدعاهم. وانطلاقاً مما تلقاه من هؤلاء، شيد تورينغ طريقة أوسع نطاقاً وأكثر متانة. وكانت ثمرة ذلك هي آلة بومب.

الفصل 8. تصميم آلة بومب لفك الشفرات ودورها الفعال (1939~1941)



الشكل 8. توضيح لأبحاث فك الشفرات باستخدام آلة بومب.

في 3 سبتمبر 1939، أعلنت بريطانيا الحرب على ألمانيا ودخلت الحرب العالمية الثانية. ومنذ ذلك اليوم، أصبح بليتشلي بارك، وهو قصر قديم يقع في مقاطعة باكنغهامشير شمال غرب لندن، ساحة معركة لا يُسمع فيها دوي الرصاص. وقاتل الأشخاص الذين تجمعوا هناك بالورقة والقلم والعقول بدلاً من البنادق.

كان الخصم آلة التشفير التابعة للجيش الألماني، إنيغما. كانت إنيغما صندوقاً خشبياً يشبه الآلة الكاتبة. وعند الضغط على لوحة المفاتيح، يمر التيار الكهربائي عبر ثلاثة دواليب دائرية تسمى الروتورات وأسلاك لوحة التوصيل في المقدمة ليتحول إلى حرف آخر، ويضيء مصباح ذلك الحرف على لوحة المصابيح في الأعلى. ونظراً لأن الروتور يدور بمقدار خانة واحدة مع كل نقرة حرف، فإن الضغط على نفس الحرف A مرتين ينتج عنه حرف مختلف في كل مرة.

علاوة على ذلك، كان الجيش الألماني يغير إعدادات الآلة يومياً؛ حيث كان يحدد من جديد تماماً أي الروتورات تُستخدم وبأي ترتيب تُركّب، ومن أي موضع حرف يبدأ دورانها، وما هي أزواج الأحرف التي تُربط بأسلاك لوحة التوصيل. وبحساب اختيار 3 روتورات من أصل 5 وتوصيل 10 أسلاك، يصل عدد الإعدادات الممكنة إلى نحو 159 كوينتيليون (1.59 × 10^20) احتمال. وإذا حاول البشر التحقق منها واحداً تلو الآخر يدوياً، فهو رقم لا يمكن لعدة أشخاص إنجازه ولو كرسوا حياتهم بأكملها له. ولهذا السبب اعتقد الجيش الألماني أن إنيغما آلة لا يمكن لأحد فك شفرتها.

لكن آلان تورينغ البالغ من العمر 27 عاماً كان يفكر بشكل مختلف. فقد رأى أنه إذا كان

اللغز قد صنعته آلة، فيمكن حله بواسطة آلة. وكان تورينغ قد أوضح قبل 3 سنوات في ورقته البحثية «عن الأعداد القابلة للحساب» أن كل عملية حسابية يمكن تفسيرها كسلسلة من حركات الآلة البسيطة للغاية. والآن حان الوقت لنقل تلك الفكرة من على الورق إلى الحديد والأسلاك.

8.1. تصميم آلة فك شفرات كهروميكانيكية

البداية من «بومبا» البولندية

كانت المهمة الأولى التي واجهها تورينغ في بليتشلي بارك هي فحص التقنية التي سلمتها بولندا. فقبل اندلاع الحرب مباشرة، في يوليو 1939، اجتمع خبراء التشفير من بريطانيا وفرنسا في قاعدة سرية داخل غابة بيري بالقرب من وارسو في بولندا. وفي هذا اللقاء، كشف مكتب الشفرات البولندي عن الطريقة التي استخدموها لفك شفرة إنيغما على مدى عدة سنوات وقدموا نسخاً مقلدة من الآلة.

وكان في قلب ذلك الإنجاز عالم الرياضيات البولندي ماريان ريجيفسكي. ففي خريف عام 1938، صنع ريجيفسكي جهاز فك شفرات يعمل بمحرك كهربائي وأطلق عليه اسم «بومبا». واستغلت بومبا إحدى عادات مشغلي الاتصالات الألمان؛ إذ كان هؤلاء عند إرسال رسالة يكتبون مفتاح الرسالة المكون من ثلاثة أحرف مرتين متتاليتين في بدايتها، لضمان استيعاب الطرف المتلقي له دون خطأ. فعلى سبيل المثال، إذا كان

المفتاح هو DKV، كانوا يرسلونه مشفراً كـ DKV DKV. وإرسال نفس الأحرف مرتين يكشف عن قاعدة ونمط بينها، فاستغلت بومبا هذه الثغرة.

أدرك تورينغ على الفور نقطة الضعف في هذه الطريقة. فنظراً لأن بومبا كانت تعتمد على عادة واحدة للجيش الألماني، فإنها تصبح عديمة الجدوى إذا غير الألمان تلك العادة. وقد حدث بالفعل في السابق أن غير الجيش الألماني أسلوبه مما زاد من صعوبة فك الشفرة على البولنديين؛ ففي ديسمبر 1938، عندما زاد الألمان أنواع الروتورات من 3 إلى 5، زادت خيارات الانتقاء بشكل كبير، وكان على البولنديين بناء آلات أكثر بعدة أضعاف وفقاً لطريقتهم. وبالفعل، توقف الجيش الألماني ابتداءً من 1 مايو 1940 عن إرسال المفتاح مرتين في معظم شبكات الاتصال.

مفتاح جديد يسمى «الكريب»

بحث تورينغ عن طريقة تظل صالحة حتى لو غير الجيش الألماني عاداته؛ وهي طريقة تقوم على التخمين المسبق لكلمات مؤكدة الورود في النص المشفر. وأطلق العاملون في بليتشلي بارك على هذه الكلمات المخمنة اسم «كريب». وكانت كلمة كريب في الأصل تشير إلى ورقة الغش التي يختلس الطلاب البريطانيون النظر إليها سراً في الامتحانات.

وكان تخمين الكريب ممكناً لأن تقارير الجيش الألماني كانت تتضمن دائماً كلمات متشابهة. فالتقرير الجوي الذي كان يُرسل كل صباح في نفس الموعد لم يكن يخلو تقريباً من الكلمة الألمانية WETTER التي تعني الطقس. ورأى تورينغ أنه إذا قارن مثل هذه

الكلمات مع النص المشفر الفعلي حرفاً بحرف، وتتبع العلاقات بين تلك الأزواج، فإنه يستطيع استنتاج إعدادات الآلة بشكل عكسي.

نقطتا ضعف في إنيغما

اعتمد تورينغ في هذه الطريقة على خاصيتين تميزت بهما آلة إنيغما.

أولاً، في إنيغما لا يمكن لأي حرف أن يتحول إلى نفسه أبداً؛ وذلك لأن العاكس الموجود في الطرف الداخلي للآلة يعيد توجيه الكهرباء دائماً إلى مسار حرف آخر. فإذا ضغطت على الحرف A، سيضيء مصباح أحد الأحرف الـ 25 المتبقية فقط دون الحرف A. لذلك، عندما يُوضع الكريب فوق النص المشفر وتتطابق نفس الأحرف في نفس الموضع، يُعرف أن ذلك الموضع غير صحيح. وكان مفككو الشفرات يزيحون الكريب خانة تلو الأخرى مستبعدين مثل هذه المواضع.

ثانياً، تعمل أسلاك لوحة التوصيل في كلا الاتجاهين بالتساوي؛ فإذا وُصل A وE بسلك، يتحول A إلى E ويتحول E إلى A. وعلاوة على ذلك، لا يمكن توصيل سوى سلك واحد لكل حرف.

آلة لاستبعاد الإجابات الخاطئة

استغل تورينغ هاتين الخاصيتين لينقل إلى دوائر الآلة أسلوب وضع فرضية أولاً، ثم

استبعادها إذا ظهر تناقض. وتماثل هذه الفكرة أسلوب «البرهان بالخلف» المستخدم في الرياضيات؛ والبرهان بالخلف هو طريقة تفترض صحة أمر ما ثم تدرسه، وإذا أفضى إلى نتيجة متناقضة وغير متسقة، يُحكم بأن الافتراض الأولي كان خاطئاً.

على سبيل المثال، لنفترض أنه عند موضع معين للروتورات، يكون A متصلاً بـ E في لوحة التوصيل. وأثناء تطبيق هذا الافتراض تباعاً على أزواج أحرف الكريب ومواصلة الحسابات، قد تظهر أحياناً نتيجة تفيد بأن A يجب أن يتصل أيضاً بـ F. وبما أنه لا يمكن توصيل سوى سلك واحد بالحرف، فإن مثل هذه النتيجة مستحيلة الحدوث، مما يعني أن الفرضية الأولية كانت خاطئة. وفي تلك اللحظة، يتم استبعاد ذلك الإعداد بالكامل بما في ذلك موضع الروتورات، والانتقال إلى الإعداد التالي.

وكان من الممكن ربط أزواج أحرف الكريب والنص المشفر التي تُطبق عليها الفرضية بالتتابع في رسم تخطيطي. وأطلق العاملون في بليتشلي بارك على هذا الرسم اسم «القائمة». وكلما زادت في القائمة الحلقات التي تعود فيها الأحرف مجدداً إلى الحرف الأول، زادت قدرة بومب على تصفية الإعدادات الخاطئة بكفاءة.

كانت بومب تعالج هذه العملية كهربائياً؛ إذ لا يستغرق مرور التيار في الدائرة دورة كاملة سوى طرفة عين. ولم تكن بومب آلة للبحث عن الإجابة الصحيحة، بقدر ما كانت آلة تستبعد الإجابات الخاطئة بسرعة فائقة. وعندما تصل الآلة إلى إعداد لا ينشأ عنه أي تناقض، كانت تتوقف. وعندئذ، يدون المشغل البشري مواضع الروتورات في تلك اللحظة، ويختبرها مباشرة في نسخة طبق الأصل من إنيغما للتأكد مما إذا كانت هي الإجابة

الحقيقية.

آلة مصنوعة من الحديد والأسلاك

انتقلت مخططات تورينغ إلى شركة الآلات الجدلية البريطانية (British Tabulating Machine Company, BTM) في ليتشوورث. وكان مهندس هذه الشركة، هارولد كين، يُعرف بين الناس بلقب «دوك». وتولى كين مهمة تحويل دوائر تورينغ المنطقية إلى مفاتيح ومرحلات وتروس حقيقية.

كانت آلة بومب القياسية التي شاع استخدامها لاحقاً عبارة عن صندوق حديدي ضخم يقارب ارتفاعه وعرضه نحو مترين، ويزن نحو طن واحد. وكانت واجهتها الأمامية مصطفة بأسطوانات دائرية تقوم بدور روتورات إنيغما. وكانت كل 3 أسطوانات تعادل آلة إنيغما واحدة، واحتوت بومب الواحدة على دوائر تعادل 36 آلة إنيغما. وفي الجزء الخلفي من كل أسطوانة، ثُبتت 104 فُرش سلكية رفيعة لتوصيل المسارات الكهربائية لأحرف الأبجدية الـ 26. وكانت هذه الدوائر تتصل ببعضها البعض بواسطة كابلات تحزم 26 سلكاً وفقاً لـ «القائمة».

في 18 مارس 1940، دخلت أول آلة بومب إلى الكوخ 1 (Hut 1) في بليتشلي بارك. وأطلق الناس على هذه الآلة اسم «فيكتوري»، أي النصر.

8.2. دمج اللوحة القطرية لغوردون ولتشمان

معضلة فيكتوري

كانت فيكتوري آلة لا تشوبها شائبة من حيث النظرية، لكن تشغيلها الفعلي كشف عن مشكلات. فقد كان الجيش الألماني يقرن 20 حرفاً من بين 26 حرفاً باستخدام 10 أسلاك في لوحة التوصيل. وبسبب كثرة الاحتمالات المفرطة، كان لزاماً على «القائمة» أن تحتوي على عدة حلقات تعود فيها الأحرف إلى نقطة البداية حتى تتمكن فيكتوري من تصفية الإعدادات الخاطئة كما ينبغي. ولإنشاء مثل هذه الحلقات، كان الأمر يتطلب كريب طويلاً.

غير أن العثور على كريب طويل ومؤكد في النصوص المشفرة الفعلية لم يكن بالأمر الهين. وعند تشغيل بومب بقائمة تفتقر إلى عدد كافٍ من الحلقات، كانت الآلة تتوقف مراراً عند نقاط غير صحيحة، وهو ما يُعرف بـ «التوقف الزائف». ونظراً لأن كل توقف كان يتطلب تحققاً يدوياً من المشغل البشري، لم ترتفع سرعة فك الشفرات إلى المستوى المأمول.

فكرة ولتشمان

كان الشخص الذي حل هذه المعضلة هو غوردون ولتشمان. ولد ولتشمان في عام 1906، وكان يكبر تورينغ بست سنوات، وجاء إلى بليتشلي بارك بعد أن كان يُدرّس الرياضيات

في جامعة كامبريدج. وتولى قيادة الكوخ 6 (Hut 6) المخصص لشفرات إنيغما للجيش وسلاح الجو الألمانيين.

بين أواخر عام 1939 وأوائل عام 1940، تأمل ولتشمان تصميم تورينغ لآلة بومب بعناية، وأدرك أن الآلة لم تكن تستفيد بالكامل من خاصية الاتجاهين المتطابقين للوحة التوصيل. فإذا كان A متصلاً بـ E، فإن E متصل بـ A أيضاً. وكان تطبيق هذه الحقيقة البديهية دفعة واحدة على الآلة بأكملها كفيلاً باكتشاف التناقضات بسرعة أكبر بكثير.

جسد ولتشمان هذه الفكرة في جهاز أطلق عليه اسم «اللوحة القطرية». كانت اللوحة القطرية عبارة عن لوحة تضم 26 في 26، أي 676 طرف توصيل مرتبة كلوحة شبكية، مع ربط الأطراف المتقابلة قطرياً بأسلاك. وعندما ترصد دائرة بومب اتصالاً بين B وE، تُمرر اللوحة القطرية في تلك اللحظة اتصال E وB إلى الدائرة أيضاً. وبذلك تنتشر المعلومة المستقاة من موضع واحد إلى الآلة بأكملها فوراً.

وعندما عرض ولتشمان هذه الفكرة، ذكر لاحقاً في مذكراته أن تورينغ استصعب تصديقها في البداية، لكنه سرعان ما استقبلها ببالغ الترحيب؛ إذ تقبل تورينغ عن طيب خاطر فكرة زميله التي عدلت تصميمه.

ولادة «أغنوس»

استطاعت آلة بومب المزودة باللوحة القطرية تصفية جميع الإعدادات الخاطئة تقريباً

حتى باستخدام كريب قصير ذي حلقات قليلة. وانخفضت حالات التوقف الزائف انخفاضاً كبيراً، وتراجع معها العمل اليدوي الذي كان يتعين على البشر التحقق منه.

في 8 أغسطس 1940، بدأت الآلة الثانية من بومب، والتي صُنعت منذ البداية باللوحة القطرية، العمل في بليتشلي بارك. وسُميت «أغنوس»، وهو اسم مقتبس من العبارة اللاتينية «أغنوس داي» التي تعني «حمل الله». وكان الناس ينادون هذه الآلة بمودة باسم «أغنيس» أو «آغي». كما عادت آلة فيكتوري التي صُنعت أولاً إلى المصنع لتزويدها باللوحة القطرية حديثاً.

وهكذا تُعرف الآلة التي جمعت بين أفكار تورينغ وولتشمان اليوم باسم «بومب تورينغ-ولتشمان». وكانت هذه الآلة تفحص جميع مواضع الروتورات البالغ عددها 17,576 موضعاً (26×26×26) لترتيب روتورات واحد في زمن لا يتعدى 20 دقيقة، وهو عمل لم يكن للبشر أن يتخيلوا إنجازه بالأيدي.

استمر عدد آلات بومب في الازدياد بعد ذلك. وكان تشغيل الآلات موكلاً في الغالب إلى عضوات الخدمة البحرية الملكية النسائية البريطانية (WRNS). فكن يقمن بتوصيل الكابلات وفقاً للقائمة، وتغيير الأسطوانات، وتدوين النتائج عند توقف الآلة. وبحلول نهاية الحرب، كان عدد آلات بومب العاملة في بريطانيا يتجاوز 200 آلة.

8.3. هجوم الكريب وفك الشفرات في الوقت الفعلي

الباحثون عن الكريب

مهما بلغت سرعة بومب، لم تكن لتجدي نفعاً دون تزويدها بالكريب الصحيح. وكان البحث عن الكريب مهمة بشرية لا آلية؛ حيث تتبع مفككو الشفرات عادات مسؤولي الاتصالات الألمان وأخطاءهم بإصرار لا يلين.

كان الجيش الألماني يكرر التقارير بنفس النمط يومياً؛ مثل تقارير الطقس، وتقارير «لا أحداث بارزة» التي تفيد بعدم وقوع شيء، بالإضافة إلى كلمات كانت ترد دائماً في المواضع نفسها مثل أسماء الوحدات ورتب القادة. حتى إن بعض القواعد كانت ترسل عبارات متطابقة تقريباً كل يوم، وغدت هذه العبارات مادة كريب ممتازة لمفككي الشفرات.

وكانت هناك أيضاً عمليات لافتعال الكريب عمداً. فقد كان سلاح الجو الملكي البريطاني يسقط ألغاماً بحرية في نقاط محددة من البحر تستخدمها القوات الألمانية. وعندها كان الألمان يرسلون رسائل تحذيرية تتضمن اسم تلك النقطة، فيتخذ مفككو الشفرات اسم ذلك الموقع كريب. وحملت هذه العملية الاسم الرمزي «البستنة».

وجاء أعظم إنجاز من جانب سلاح الجو الألماني. فشفرة سلاح الجو الألماني، التي سماها

بليتشلي بارك «ريد»، كانت تشهد أخطاء متكررة من مشغلي الاتصالات وتوفر كريب وفيراً. وتمكن الكوخ 6، ابتداءً من 22 مايو 1940، من فك هذه الشفرة بشكل شبه يومي.

الخصم الأصعب: البحرية الألمانية

كان الخصم الذي نازله تورينغ هو شفرة إنيغما التابعة للبحرية الألمانية، والتي كانت أشد تعقيداً بكثير. وأطلق بليتشلي بارك على هذه الشفرة البحرية التي كانت تستخدمها غواصات يو بوت اسم «دولفين».

واكتسبت شفرة البحرية أهميتها القصوى بسبب أوضاع القتال في المحيط الأطلسي. فبعد استسلام فرنسا في يونيو 1940، أنشأ الأدميرال كارل دونيتز، قائد أسطول الغواصات الألمانية، قواعد للغواصات في موانئ الساحل الأطلسي لفرنسا، بما في ذلك لوريان. وغدت غواصات يو بوت الألمانية قادرة على التوغل بسهولة حتى قلب المحيط الأطلسي. وكان دونيتز ينشر عدة غواصات يو بوت في البحر، وعندما ترصد إحداها قافلة سفن نقل، تستدعي الغواصات الأخرى عبر اللاسلكي لمهاجمتها مجتمعة. وأطلق الناس على هذا الأسلوب اسم «تكتيك قطيع الذئاب». ولأن بريطانيا دولة جزرية كان يتعين عليها جلب الغذاء والوقود والأسلحة بالسفن من الولايات المتحدة وكندا، فكان غرق كل سفينة نقل يعني قطع شريان حياة بريطاني شيئاً فشيئاً.

بيد أن إنيغما البحرية الألمانية كانت دفاعاتها أمنع بكثير من تلك الخاصة بالجيش وسلاح الجو؛ فبينما كان الجيش وسلاح الجو يختاران 3 روتورات من أصل 5 ليحصلا

على 60 ترتيباً، صنعت البحرية 3 روتورات إضافية لتختار 3 من بين 8 روتورات، فارتفع عدد الترتيبات المحتملة إلى 336 ترتيباً. وإلى جانب ذلك، زادت البحرية من إخفاء مفتاح الرسالة باستخدام كتيب مستقل وجدول تحويل ثنائي الأحرف. ولهذا، حتى مع العثور على الكريب، كانت هناك عقبات كثيرة يتعين تخطيها قبل تزويده لآلة بومب.

هز كثيرون في بليتشلي بارك رؤوسهم يائسين مؤكدين استحالة حل إنيغما البحرية، لكن هذا التحدي بالذات هو ما اجتذب تورينغ. وقال تورينغ لاحقاً إنه نظراً لعدم إقدام أحد على تولي هذا الأمر، فقد تفرغ لخوض المعركة بمفرده. وتولى تورينغ قيادة الكوخ 8 (Hut 8) ليبدأ صراعه الطويل مع شفرة البحرية، كما ابتكر أسلوباً حسابياً جديداً يستند إلى الاحتمالات والإحصاء لتقليص زمن تشغيل بومب.

مفتاح استُخرج من البحر

لم تكن الرياضيات وحدها كافية؛ بل تطلب الأمر الاستيلاء مباشرة على وثائق تشفير البحرية الألمانية. ففي 26 أبريل 1940، احتجزت المدمرة البريطانية غريفين السفينة الألمانية بولاريس التي كانت متخفية في هيئة سفينة صيد هولندية قبالة سواحل النرويج. وبفضل الوثائق التي عُثر عليها في تلك السفينة، فك الكوخ 8 شفرة رسائل البحرية لبضعة أيام في أواخر أبريل 1940. ورغم أن فك الشفرة استغرق وقتاً طويلاً حال دون توظيفه المباشر في العمليات، إلا أنه أتاح لتورينغ وزملائه فهماً عميقاً لبنية إنيغما البحرية.

أما الوثائق الحاسمة فجاءت في العام التالي. ففي 9 مايو 1941، هاجمت السفينتان الحربيتان البريطانيتان بولدوغ وأوبريتا الغواصة الألمانية U-110 في البحر جنوب آيسلندا وأجبرتاها على الطفو فوق الماء. ولقي قبطانها فريتز-يوليوس ليمب حتفه أثناء مغادرة السفينة، بينما صعد بحارة بريطانيون بقيادة الملازم ديفيد بالم إلى الغواصة قبيل غرقها، وخرجوا حاملين آلة إنيغما وكتب الشفرات سليمة بالكامل.

وبتضافر هذه الوثائق مع آلة بومب وأسلوب تورينغ الحسابي، تسارعت وتيرة فك الشفرات. وخلال شهري يونيو ويوليو 1941، نجح الكوخ 8 في بعض الأحيان في فك شفرة برقيات البحرية في غضون ساعة واحدة من استلامها.

تغيير مسارات المحيط الأطلسي

أُطلق الاسم الرمزي «ألترا» على المعلومات الاستخباراتية المفكوكة، وأُحيلت معلومات ألترا مباشرة إلى الأميرالية في لندن. وعرفت الأميرالية مواقع تمركز غواصات يو بوت في البحر، وحوّلت خطوط سير قوافل النقل بعيداً عنها، لتبقى قطعان الذئاب مرابطة في مياه خاوية. وخلال النصف الثاني من عام 1941، انخفض عدد سفن النقل التابعة للحلفاء التي غرقت في المحيط الأطلسي انخفاضاً كبيراً مقارنة بالنصف الأول.

ولا يمكن تقييم الأثر الذي تركه فك الشفرات على مسار الحرب برمتها إلا على وجه التقدير؛ إذ تشير تقديرات إلى أن فك الشفرات في بليتشلي بارك قد عجل بنهاية الحرب بنحو عامين. وقدر الباحث في دراسات تورينغ، جاك كوبلاند، أنه لو طال أمد الحرب

لأكثر من عامين إضافيين، لكان من الممكن أن يلقى أكثر من 14 مليون شخص إضافي حتفهم. وهذا الرقم تقدير قد يتفاوت بحسب طريقة الحساب. ورغم ذلك، يتفق جل الباحثين على أن فك الشفرات كان عاملاً حاسماً غيّر مجرى معركة الأطلسي.

في خريف عام 1939، وأمام إنيغما التي زعم الجميع استحالة كسرها، اختار تورينغ مقارعة الآلة بالآلة. وعلى ذلك الدرب، تلاقت الأبحاث الرائدة للرياضيين البولنديين، واللوحة القطرية لولتشمان، وبراعة كين التقنية، وسواعد طواقم التشغيل التي أدارت آلات بومب ليل نهار. ومع أن بومب كانت آلة مخصصة لمهمة واحدة، إلا أن تجربة تجسيد التفكير البشري في دوائر كهربائية غدت جسر العبور الذي قاد تورينغ بعد الحرب نحو ابتكار الحاسوب الحقيقي.

الفصل 9. الكوخ 8، وإنيغما البحرية، والبانبوريزموس (1940–1942)



الشكل 9. يوضح العلاقة بين فك الشفرة وحماية سفن القوافل البحرية.

في صيف عام 1940، عندما احتلت القوات الألمانية فرنسا، اضطرت بريطانيا إلى مواجهة ألمانيا بمفردها في أوروبا. وباعتبارها دولة جزرية، كانت بريطانيا تستورد جزءًا كبيرًا من طعامها ونفطها وأسلحتها من وراء البحار، وكانت السفن المحملة بهذه الإمدادات تعبر المحيط الأطلسي في مجموعات. وتُسمى هذه المجموعة من السفن التي تبحر معًا قافلة بحرية.

سعى الأدميرال كارل دونيتز، قائد أسطول الغواصات في البحرية الألمانية، إلى قطع هذا الطريق البحري. وأنشأ قواعد للغواصات في موانئ مثل لوريان على الساحل الغربي لفرنسا. وكانت الغواصات الألمانية تُعرف باسم غواصات يو، حيث كانت عدة غواصات منها تطوق القوافل البحرية وتهاجمها تمامًا كما تصطاد الذئاب في قطعان. وأطلق الناس على هذا الأسلوب تكتيك قطيع الذئاب. واستذكر رئيس الوزراء ونستون تشرشل بعد انتهاء الحرب أن الشيء الوحيد الذي أخافه حقًا طوال فترة الحرب كان خطر غواصات يو وحدها.

ولوقف غواصات يو، كان من الضروري أولاً معرفة أماكن وجودها. كانت غواصات يو تتواصل مع القيادة عبر اللاسلكي من عرض البحر، وكان بإمكان بريطانيا اعتراض تلك الإشارات اللاسلكية. لكن المشكلة كانت تكمن في أن محتوى الرسائل اللاسلكية كان محجوبًا بشفرة تُدعى إنيغما البحرية. وكانت إنيغما البحرية أصعب في الحل مقارنة بإنيغما التي استخدمها الجيشان البري والجوي، وترددت الأحاديث حتى بين مسؤولي بليتشلي بارك بأن شفرة البحرية لن يُتمكن من قراءتها أبدًا.

لكن تقدير آلان تورينغ كان مختلفًا؛ فقد رأى أنه بما أن أحدًا لا يتولى شفرة البحرية، فيمكنه دراستها بمفرده بحرية تامة. فالمشكلة التي استسلم أمامها الآخرون كانت بالنسبة إليه فرصة ممتازة. وهكذا، تولى تورينغ قيادة الفريق المخصص لإنيغما البحرية. ولأن رقم الكوخ الخشبي الذي عمل فيه هذا الفريق كان 8، أصبح اسم الفريق أيضًا الكوخ 8. وفي ذلك الوقت، كان تورينغ عالم رياضيات شابًا في أواخر العشرينيات من عمره.

9.1. الكوخ 8 وشفرة غواصات يو

كانت هناك عدة أسباب جعلت فك شفرة إنيغما البحرية بتلك الصعوبة البالغة. الأول هو عدد الدوارات. ففي داخل آلة إنيغما، توجد ثلاث عجلات دائرية تبدل الحروف، وتُسمى هذه العجلات بالدوارات. وكان الجيشان البري والجوي يختاران ثلاثة دوارات من بين خمسة ويركبونها بالترتيب، مما يعطي 60 طريقة لتركيب الدوارات. في المقابل، اختارت البحرية ثلاثة دوارات من بين ثمانية، مما رفع عدد الطرق إلى 336 طريقة. ومن وجهة نظر من يفك الشفرة، فقد تضاعفت الحالات التي يتعين فحصها بأكثر من خمس مرات.

السبب الثاني هو طريقة إخفاء المؤشرات. فالرسائل المرسلة عبر إنيغما كانت تُلحق في مقدمتها مجموعة قصيرة من الحروف تُسمى المؤشر، وهي علامة تخبر المتلقي من أي موضع يجب عليه فك تشفير الرسالة. وكان الجيشان البري والجوي يخفيان المؤشر بطريقة بسيطة نسبيًا. أما البحرية، فكانت تختار المؤشر من كتاب خاص، ثم تخفيه مرة أخرى باستخدام جدول يستبدل حرفين بحرفين آخرين. وبدون معرفة هذا الجدول، مهما بلغ عدد الرسائل التي جُمعت، لم يكن بالإمكان العثور على نقطة البداية للشروع في

فك الشفرة.

باستخدام الوثائق القديمة التي تركها خبراء التشفير البولنديون إلى جانب الاستدلال الرياضي، استطاع تورينغ بحلول أواخر عام 1939 أن يستنتج ذهنيًا تقريبًا كيفية عمل نظام المؤشرات هذا. غير أن فهم البنية كان أمرًا، والحصول على الجداول المستخدمة فعليًا كان أمرًا آخر تمامًا. فكان على بريطانيا أن تستولي على المواد الشفرية مباشرة من السفن الألمانية. وكان العاملون في بليتشلي بارك يطلقون على هذه العمليات اسم القرصة (Pinch)، أي الاستيلاء الخاطف.

جاءت الفرصة الأولى في 26 أبريل 1940 قبالة سواحل النرويج. حيث احتجزت المدمرة البريطانية غريفين سفينة الدوريات التابعة للبحرية الألمانية بولاريس التي كانت متنكرة في هيئة سفينة صيد هولندية، وكان من بين الوثائق التي لم يتمكن البحارة الألمان من إتلافها في الوقت المناسب إعدادات التشفير لعدة أيام من أواخر شهر أبريل. واستخدم الكوخ 8 هذه المواد لفك شفرة الاتصالات السابقة بأثر رجعي. وفي نوفمبر 1940، تمكن هيو فوس من فك شفرة اتصالات بحرية مؤرخة في 8 مايو من العام نفسه. وكان تاريخ هذه الرسالة هو ما أطلق عليه الزملاء اسم يوم فوس. ورغم أن تلك الاتصالات كان قد مضى عليها وقت طويل، إلا أنها كانت إنجازًا مهمًا أثبت إمكانية فك شفرة إنيغما البحرية.

وجاءت الفرصة الثانية في ربيع العام التالي. ففي 4 مارس 1941، شنت قوات كوماندوز بريطانية ونرويجية غارة على جزر لوفوتين في النرويج، وغنمت طاقمًا من دوارات

إنيغما ومواد شفرية من سفينة الصيد المسلحة الألمانية كريبس. ومع أن قبطان السفينة كريبس ألقى آلة إنيغما في البحر، إلا أن الوثائق المتبقية كانت تحتوي على إعدادات التشفير الخاصة بالبحرية الألمانية لشهر فبراير.

أما الفرصة الكبرى فجاءت في 9 مايو 1941. ففي المياه الواقعة جنوب آيسلندا، طفت الغواصة يو-110 (U-110)، التي كانت تترصد إحدى القوافل البحرية، إلى السطح بعد تعرضها لهجوم بقذائف الأعماق من السفينتين الحربيتين البريطانيتين بولدوغ وأوبريتا. وقذيفة الأعماق هي قنبلة تُفجر تحت الماء لمهاجمة الغواصات. واعتقد قائد الغواصة النقيب يوليوس ليمب أن السفينة ستغرق قريبًا، فأمر طاقمه بإخلائها. غير أن الغواصة يو-110 لم تغرق؛ إذ خاطر بحارة بريطانيون بقيادة الملازم ديفيد بالم بالدخول إلى الغواصة، وأخرجوا آلة إنيغما وكتب الشفرات سليمة بالكامل من غرفة اللاسلكي. وحافظت بريطانيا على سرية هذا الأمر تمامًا؛ لأن ألمانيا لو علمت بالاستيلاء على شفراتها لبادرت بتغييرها على الفور.

ومع إضافة آلة بومب التي صممها تورينغ، والأسلوب الإحصائي المعروف باسم البانبوريزموس (الذي سيُشرح في القسم التالي)، إلى تلك المواد المستولى عليها، تغير الموقف. فابتداءً من يونيو 1941، تمكن الكوخ 8 من قراءة الشفرة البحرية التي تستخدمها غواصات يو بشكل يومي تقريبًا. وأطلق بليتشلي بارك على هذه الشفرة اسم دولفين، أي الدلفين. ونُقلت المعلومات المفكوكة تحت الاسم السري ألترا إلى قيادة البحرية، والتي استطاعت تحديد أماكن تجمع غواصات يو وتوجيه القوافل للالتفاف حول تلك المناطق البحرية. وفي النصف الثاني من عام 1941، انخفض عدد سفن

الحلفاء التي أُغرقت في المحيط الأطلسي انخفاضًا ملحوظًا.

ومع ذلك، لم تكن الأمور تسير بسلاسة دائمًا؛ إذ عانى الكوخ 8 من نقص مستمر في الأيدي العاملة. وكان هناك نقص في الأفراد لفرز الرسائل المفكوكة وطباعتها على الآلة الكاتبة، مما كان يؤدي إلى تأجيل عمل اليوم إلى اليوم التالي. وفي 6 سبتمبر 1941، زار رئيس الوزراء تشرشل بليتشلي بارك وشجع العاملين هناك. وبعد ما يزيد قليلاً عن ستة أسابيع، في 21 أكتوبر، كتب تورينغ رسالة مباشرة إلى تشرشل بالاشتراك مع هيو ألكسندر، وغوردون ويلتشمان وستيوارت ميلنر-باري من الكوخ 6 (الذي كان يتولى شفرات الجيش وسلاح الجو). وتضمنت الرسالة أن نقص الموظفين يتسبب في تأخير العثور على إعدادات شفرة البحرية بما لا يقل عن 12 ساعة يوميًا. وحمل ميلنر-باري هذه الرسالة إلى مقر رئاسة الوزراء في 10 داونينغ ستريت بلندن. وبعد قراءة الرسالة، أصدر تشرشل تعليماته لمساعده العسكري الأول الجنرال إسمي بأن ينجز الأمر في اليوم نفسه ويمنحهم كل ما يريدونه. وبعد ذلك، زاد عدد العاملين والآلات في بليتشلي بارك زيادة كبيرة.

لكن فك الشفرة تعطل مرة أخرى في العام التالي. ففي 1 فبراير 1942، بدأت غواصات يو في المحيط الأطلسي باستخدام آلة إنيغما جديدة تحتوي على أربعة دوارات. وأطلق بليتشلي بارك على هذه الشفرة الجديدة اسم شارك، أي القرش. وعجز الكوخ 8 عن قراءة هذه الشفرة لما يقرب من عشرة أشهر، وتفاقمت خلال تلك الفترة خسائر سفن الحلفاء من جديد. وجاء الانفراج هذه المرة أيضًا من وثائق جُلبَت من البحر. ففي 30 أكتوبر 1942، دخل بحارة بريطانيون في البحر الأبيض المتوسط إلى الغواصة الغارقة يو-559

(U-559) وانتشلوا كتب الشفرات. ولقي الضابط أنتوني فايسون والبحار كولين غريزر حتفهما غرقًا مع الغواصة أثناء تنفيذ هذه المهمة، بينما نجا الفتى تومي براون البالغ من العمر 16 عامًا. وبفضل كتب الشفرات التي أنقذوها، استأنف الكوخ 8 قراءة شفرة شارك في ديسمبر 1942.

في ذلك الوقت، كان تورينغ يبتعد تدريجيًا عن المهام اليومية في الكوخ 8. فقد كان بارعًا في التعمق في المشكلات، لكنه كان قليل البراعة في إدارة أعداد كبيرة من الناس، وكان نائبه هيو ألكسندر يتولى الإدارة الفعلية في كثير من الأحيان. ومع مغادرة تورينغ إلى الولايات المتحدة في نوفمبر 1942، تولى ألكسندر قيادة الكوخ 8 رسميًا.

9.2. أسلوب البانبوريزموس الإحصائي

كانت آلة بومب جهازًا يختبر إعدادات الدوارات واحدًا تلو الآخر. ولكن في عامي 1940 و1941، لم يكن لدى بليتشلي بارك سوى عدد قليل من هذه الآلات، فلم تكن كافية حتى لفك شفرات الجيش وسلاح الجو. وكان اختبار جميع الترتيبات البالغ عددها 336 لدوارات إنيغما البحرية باستخدام آلة بومب يستغرق وقتًا طويلاً جدًا لدرجة جعلته أمرًا مستحيلاً.

لذلك، فكر تورينغ في استبعاد الترتيبات ذات الاحتمالية الضعيفة مسبقًا عن طريق الحسابات الرياضية قبل تشغيل آلة بومب. فإذا لم يتبق سوى عدد قليل من الترتيبات المعقولة من بين 336 ترتيبًا لتمريرها إلى بومب، فسيقل وقت تشغيل الآلة بشكل كبير.

والأسلوب الذي نشأ عن هذه الفكرة هو البانبوريزموس. وقد استلهم تورينغ هذا الحل من تقنية تُدعى طريقة الساعة ابتكرها خبير التشفير البولندي يرزي روزيتسكي.

استغل أسلوب البانبوريزموس نقطة ضعف واحدة في إنيغما البحرية. فقد كانت البحرية تحدد إعدادًا أساسيًا يشترك في استخدامه جميع مشغلي اللاسلكي يوميًا، ويُسمى هذا الإعداد الأساسي بالألمانية غروندشتيلونغ (Grundstellung). وكان مشغل اللاسلكي يختار موضع بداية مختلفًا لكل رسالة، ويشفر موضع البداية هذا باستخدام هذا الإعداد الأساسي نفسه ثم يرسله في مقدمة الرسالة. ونتيجة لذلك، كان الموضع الذي يبدأ فيه التشفير الفعلي مختلفًا بين رسالة وأخرى. ومع ذلك، إذا كان موضعا بداية رسالتين أُرسلتا في اليوم نفسه متقاربين، فإن إزاحة إحداهما بضع خانات ومطابقتهما بشكل ملائم يُنتج مقطعًا بدلت فيه الآلة الحروف وهي في الحالة ذاتها تمامًا في كلتا الرسالتين. ومن خلال مطابقة المقاطع المشفرة تحت الحالة نفسها للآلة، كانت القواعد الخفية تنكشف.

ولمعرفة كيفية مطابقة رسالتين، استخدم فريق تورينغ بطاقات ورقية طولية. وكانت حروف الأبجدية مطبوعة في خانات على تلك البطاقات، حيث كان العامل يثقب فتحة في الخانة المقابلة لكل حرف من حروف النص المشفر. وطُبعت هذه البطاقات في مطبعة ببلدة بانبري في مقاطعة أوكسفوردشير. ولذلك سُميت البطاقات صفائح بانبري، وسُميت الطريقة بأكملها التي تستخدم هذه البطاقات بانبوريزموس.

وكانت طريقة العمل تجري على النحو التالي: توضع بطاقتان لرسالتين فوق بعضهما، ثم

يُسلَّط ضوء من الأسفل. وبعد ذلك تُحرَّك البطاقة العلوية جانبًا خانة تلو الأخرى، مع عدّ المواضع التي تتطابق فيها ثقوب البطاقتين معًا. وكان تطابق الثقوب يعني وجود الحرف نفسه في الموضع نفسه في كلتا الرسالتين.

وكان لعدد مواضع التطابق أهمية بسبب نظرية الاحتمالات. فإذا طابقت سلسلتين من الحروف تشكلتا عن طريق اختيار عشوائي لستة وعشرين حرفًا أبجديًا باحتمالات متساوية، فإن احتمال ظهور الحرف نفسه في الموضع نفسه هو 1 من 26، لأن الأبجدية تحتوي على 26 حرفًا. ولكن عندما تُطابق رسالتان للبحرية الألمانية أُنتجتا بينما كانت الآلة في الحالة نفسها مطابقة صحيحة، يرتفع هذا الاحتمال إلى نحو 1 من 17. وتلك قيمة تقريبية تستند إلى توزيع تواتر الحروف في رسائل البحرية آنذاك؛ ففي اللغة الألمانية توجد حروف شائعة الاستخدام مثل الحرف E، ولهذا فإن نسبة تكرار الحروف في النص الأصلي تظل محفوظة في النص المشفر أيضًا. ولم يقتصر العاملون على عد مواضع تطابق حرف واحد فحسب، بل عدوا أيضًا المواضع التي تطابق فيها حرفان أو ثلاثة حروف متتالية. وكلما زادت مواضع التطابق، زاد احتمال مطابقة الرسالتين بشكل صحيح.

وكان السؤال المتبقي هو كم عدد مواضع التطابق اللازم ليكون قابلاً للتصديق. وللإجابة عن هذا السؤال، ابتكر تورينغ وحدة لقياس وزن الدليل. فإذا غيّر دليل ما نسبة احتمال صحة الفرضية إلى احتمال خطئها بمقدار 10 أضعاف، حُدد وزن هذا الدليل بأنه 1 بان. واشتُق اسم بان من بلدة بانبري. غير أن 1 بان كانت وحدة كبيرة جدًا للاستخدام العملي، لذا استخدم تورينغ في الغالب عُشرها، وهو الديسيبان. وكان ذلك شبيهًا بوحدة

الديسيبل المستخدمة لقياس شدة الصوت.

وكانت ميزة الديسيبان تكمن في أنه لا يتطلب سوى الجمع. فلنفترض أن احتمال الصواب والخطأ كان متساويًا مناصفة في البداية؛ فإذا تراكمت الأدلة لتصل إلى 10 ديسيبان، أصبح احتمال الصواب أكبر بعشر مرات (10 أضعاف) من احتمال الخطأ، وعند 20 ديسيبان يصبح أكبر بمئة ضعف (100 ضعف)، وعند 50 ديسيبان يصبح أكبر بمئة ألف ضعف (100,000 ضعف). وكان العاملون يضيفون نقاطًا كلما عثروا على حرف متطابق، فإذا تجاوزت النقاط حدًا معينًا محددًا مسبقًا، توصلوا إلى نتيجة. وأوضح جاك غود، مساعد تورينغ، أن مقدار 1 ديسيبان تقريبًا هو أصغر فارق يمكن للإنسان من خلاله أن يشعر بتغير في يقينه.

وتُعرف طريقة تعديل الحكم تدريجيًا كلما ورد دليل جديد باسم التحليل المتسلسل. وقد طور عالم الرياضيات الأمريكي أبراهام فالد طريقة مماثلة ونشرها، إلا أن تورينغ كان يطبق هذه الطريقة بالفعل قبله في ميدان فك الشفرات. ولكن نظرًا لأن عمل تورينغ كان سرًا من أسرار الحرب، فقد ظل العالم الخارجي يجهل هذه الحقيقة لفترة طويلة.

وعندما كان البانبوريزموس يكشف كيفية تطابق أزواج الرسائل المتعددة، كان بإمكانهم بناءً على تلك النتائج تضييق الاحتمالات لمعرفة ما هما الدوار الأيمن والدوار الأوسط. وبذلك تقلص عدد المرشحات للاختبار عبر آلة بومب من بين 336 ترتيبًا إلى مجرد بضعة خيارات. وكان أبرع من مارس البانبوريزموس هو هيو ألكسندر، الذي كان أيضًا بطلاً في الشطرنج، كما كانت جوان كلارك ممارسة بارعة للبانبوريزموس. وكان ألكسندر

وجاك غود يعتبران هذا العمل لعبة فكرية أكثر من كونه وظيفة؛ عمل لا يتسم بالسهولة لدرجة الملل، ولا بالصعوبة لدرجة الإرهاق.

استخدم الكوخ 8 هذه الطريقة دون انقطاع لمدة عامين، ولم يتوقف عن ذلك إلا في عام 1943 عندما أصبحت آلات بومب متوفرة بكثرة. وخلال تلك الفترة، وفر البانبوريزموس قدرًا كبيرًا من وقت تشغيل آلات بومب. وبعد انتهاء الحرب، أُتلفت معظم صفائح بانبري حفاظًا على السرية. غير أنه في سبتمبر 2013، عثر عمال كانوا يرممون الأكواخ في بليتشلي بارك على بضع صفائح بانبري في فجوة بسقف الكوخ 6؛ إذ كان العاملون في ذلك الكوخ البارد قد حشروا الأوراق المستعملة المهملة في الشقوق لصد الرياح.

9.3. كتاب البروفيسور

كان العاملون في بليتشلي بارك يطلقون على تورينغ اسم البروفيسور، أي الأستاذ. ومع أنه لم يكن أستاذًا حقيقيًا، إلا أن انشغاله الدائم بالتفكير في المسائل الرياضية جعل هيئته تبدو كأستاذ.

في خريف عام 1940، لخص تورينغ مبادئ فك شفرة إنيغما التي توصل إليها في تقرير واحد. وكان العنوان الرسمي هو النظرية الرياضية لآلة إنيغما، لكن داخل بليتشلي بارك كانوا يطلقون على هذا التقرير اسم كتاب البروفيسور. وطبع تورينغ النص على الآلة الكاتبة، بينما أدرج المعادلات والرسوم التوضيحية بخط يده.

تضمن هذا الكتاب شروحًا رياضية لكيفية قيام دوارات إنيغما ولوحة القوابس بتبديل

الحروف. كما اشتمل على طريقة للعثور على التناقضات من خلال مطابقة العبارات المخمنة مسبقًا مع النص المشفر، وشرحًا للمبدأ الذي تعمل به آلة بومب وكيفية اختراق مؤشرات البحرية. وكان علماء الرياضيات الجدد في بليتشلي بارك يتعلمون فك شفرة إنيغما من هذا الكتاب. وظل كتاب البروفيسور وثيقة سرية لفترة طويلة حتى رُفعت عنه السرية في الولايات المتحدة عام 1996. وهو محفوظ حاليًا في الأرشيف الوطني البريطاني تحت الرقم HW 25/3.

بالإضافة إلى ذلك، كتب تورينغ ورقتين بحثيتين تتناولان كيفية استخدام الاحتمالات في فك الشفرات. تناولت إحداهما كيفية تطبيق الاحتمالات على علم التشفير، حيث شرح تورينغ في هذا البحث كيفية تطبيق مبرهنة بايز وحسابات الديسيبان على أنواع مختلفة من الشفرات. ومبرهنة بايز هي صيغة احتمالية توضح كيفية تعديل الفكرة الأولية عند ورود دليل جديد. أما الورقة الأخرى فتناولت وتيرة تكرار الحروف المتطابقة داخل الجمل. وظلت الورقتان محفوظتين في سرية تامة لدى مقر الاتصالات الحكومية البريطانية، المعروف اختصارًا بـ GCHQ، لما يقرب من 70 عامًا. ولم تُنقلا إلى الأرشيف الوطني وتُتاحا للجمهور إلا في أبريل 2012، بمناسبة مرور 100 عام على ميلاد تورينغ. وقد علق أحد علماء الرياضيات في GCHQ آنذاك بأن حقيقة بقاء هذه الأوراق سرية طوال تلك المدة تثبت في حد ذاتها قيمتها.

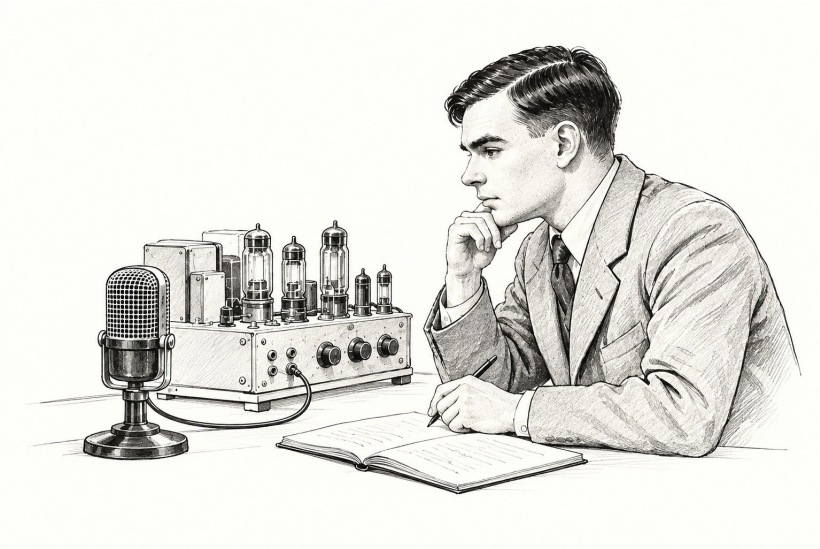
إن فكرة تورينغ في قياس كمية المعلومات عدديًا، تمامًا مثل قياس وزن الدليل بالديسيبان، تشبه نظرية المعلومات التي وضعها كلود شانون في الولايات المتحدة بشكل مستقل في الفترة نفسها. وكان شانون قد ابتكر أيضًا وحدة لقياس كمية

المعلومات. بل إن الرجلين التقيا في الولايات المتحدة عام 1943 أثناء الحرب وتبادلا أطراف الحديث.

ولم تتوقف أساليب تورينغ الإحصائية عند إنيغما. ففي يوليو 1942، ابتكر تورينغ طريقة لمعرفة ترتيب كامات دوارات آلة لورنتز يدويًا—وهي آلة تشفير أخرى كانت تستخدمها القيادة العليا الألمانية—أي ترتيب البروزات حول العجلات التي تغير الإشارات. وأطلق الزملاء على هذه الطريقة اسم تورينغيري اشتقاقًا من اسم تورينغ. كما استُخدم أسلوب مراكمة الأدلة بالديسيبان في طرق أخرى لفك شفرة لورنتز. وتواصل هذا المسار وصولاً إلى آلة كولوسس الإلكترونية لفك الشفرات التي صنعها المهندس تومي فلاورز بين عامي 1943 و1944. وكانت كولوسس آلة إلكترونية تعمل بالصمامات المفرغة.

تضافرت جهود العديد من الأشخاص في المسار الذي مكّن الكوخ 8 من قراءة إنيغما البحرية بين عامي 1940 و1942. فقد تولى تورينغ شفرة البحرية التي كان يُقال حتى داخل بليتشلي بارك إنه لن يُتمكن من قراءتها، فحلل نظام المؤشرات، وصمم آلة بومب، وقلص مرشحات الاختبار لآلة بومب بحسابات الاحتمالات، ووثق تلك الطريقة في كتاب ليستفيد منه زملاؤه. وإلى جانب ذلك، أُضيفت جهود البحارة الذين جلبوا المواد الشفرية من السفن الألمانية، وعمل أفراد الكوخ 8 الذين عدوا الثقوب في صفائح بانبري وجمعوا النقاط. وبفضل تضافر كل هذه الجهود، تمكنت قيادة البحرية من توجيه القوافل البحرية للالتفاف بعيدًا عن المناطق البحرية التي احتشدت فيها غواصات يو.

الفصل 10: التبادل التقني السري ومشروع ديلايلا (Delilah) (1942–1945)



الشكل 10. إعادة بناء لأبحاث مشروع ديلايلا لتشفير الصوت.

في خريف عام 1942، كانت غواصات يو (U-boat) الألمانية تُغرق سفن النقل التابعة للحلفاء الواحدة تلو الأخرى في المحيط الأطلسي. وكان آلان تورينغ يعمل في الكوخ 8 (Hut 8) في بليتشلي بارك على فك تشفير آلة إنيغما البحرية الألمانية. وفي ذلك الوقت كُلِّف بمهمة جديدة: السفر إلى الولايات المتحدة لمشاركة تقنيات فك التشفير التي راكمتها بريطانيا مع زملائه الأمريكيين.

كانت خلفية هذه المهمة هي دخول الولايات المتحدة الحرب؛ إذ خاضت الولايات المتحدة غمار الحرب في أعقاب الهجوم الياباني على بيرل هاربر في ديسمبر 1941. وإذا قام بلدان يقاتلان العدو نفسه بفك الشفرات كلٌّ على حدة، فسيستغرق ذلك ضعف الوقت والجهد. لذلك قرر البلدان توحيد جهودهما، وأصبح تورينغ إحدى حلقات الوصل بينهما.

من عام 1942 إلى عام 1945، كانت الأعمال التي قام بها تورينغ تنقسم بصورة رئيسية إلى ثلاثة أمور: أولاً، زار الولايات المتحدة لنقل تقنيات فك التشفير وفحص جهاز لتشفير الصوت. وبعد عودته إلى بريطانيا، صنع بنفسه آلة ديلايلا (Delilah) التي تحول الصوت البشري إلى شفرة. وبعد انتهاء الحرب، نال وساماً، لكن لم يكن بالإمكان الكشف لفترة طويلة عن طبيعة الإنجازات التي كان يكرّمها ذلك الوسام.

10.1. زيارة وكالات ومختبرات فك التشفير الأمريكية

ضيف وصل دون وثائق

عبر تورينغ المحيط الأطلسي على متن سفينة في نوفمبر 1942. كان بحراً خطيراً تترصد فيه غواصات يو بسفن النقل. ووصل إلى نيويورك في 12 نوفمبر، واستمرت هذه الزيارة حتى مارس من العام التالي.

وفور وصوله، وقعت جلبة صغيرة؛ إذ لم يكن تورينغ يحمل الوثائق التي تثبت هويته بالشكل المناسب، مما جعل مسؤولي الهجرة يترددون لبعض الوقت في السماح له بالدخول. ولا تزال هذه الحادثة مدونة كما هي في تقرير كتبه تورينغ بنفسه بعد أسبوعين.

لم تكن الولايات المتحدة مكاناً يزوره تورينغ لأول مرة؛ فبين نيويورك وواشنطن تقع برنستون، حيث كان يدرس للحصول على الدكتوراه قبل 6 سنوات. في ذلك الوقت، كان طالباً شاباً يكتب أبحاثاً رياضية. أما هذه المرة، فقد وطأت قدماه أرض الولايات المتحدة مجدداً بصفته مبعوثاً سرياً يمثل تقنيات التشفير للحكومة البريطانية.

وحدة OP-20-G في واشنطن

كان أول مكان قصده تورينغ هو وحدة فك التشفير التابعة للبحرية الأمريكية OP-20-G في واشنطن العاصمة. ومع أن اسمها يبدو غريباً كأنه شفرة، إلا أنه كان رمزاً مخصصاً لأحد الفرق التابعة لقسم الاتصالات في مقر البحرية الأمريكية. وكان هذا الفريق يحاول أيضاً، تماماً مثل الكوخ 8 في بريطانيا، فك تشفير إنيغما البحرية الألمانية.

تشاور تورينغ عن قرب مع خبراء التشفير الأمريكيين وشرح لهم الأساليب البريطانية، مثل كيفية تشغيل آلات بومب، وكيفية تقليص الخيارات المرشحة بواسطة طريقة بانبوريسموس. ولم يقدّر تورينغ في البداية مهارات فريق البحرية الأمريكية تقديراً عالياً، إلا أن مستوى الفريق ارتقى بسرعة مع انضمام علماء رياضيات شبان بارعين مثل أندرو غليسون.

مصنع بومب في دايتون

في 21 ديسمبر 1942، زار تورينغ مصنع شركة إن سي آر (NCR - ناشونال كاش ريجستر) في دايتون بولاية أوهايو. وكانت هذه الشركة، التي كانت تصنع آلات تسجيل النقد، تنتج آلات بومب لصالح البحرية الأمريكية أثناء الحرب. وكان المهندس جوزيف ديش يقود هذا العمل.

كانت خطة البحرية الأمريكية ضخمة الحجم، وكان هذا الحجم نابعاً من بنية آلة إنيغما. ففي آلة إنيغما ذات الدوارات الأربعة التي كانت البحرية الأمريكية تتعامل معها، كانت الدوارات الثلاثة التي تتحرك أساساً تُختار 3 منها من بين 8 وتُركب بالترتيب، بينما يُختار الدوار الرابع بمعزل عن هذه الثلاثة. وبما أنه يمكن وضع 8 خيارات في الموضع الأول، و7 متبقية في الموضع الثاني، و6 متبقية في الموضع الثالث، فإن حاصل ضرب 8 في 7 في 6 يعطي 336 تركيبة إجمالاً. وكانت خطة بومب الأمريكية تقضي بتخصيص آلة واحدة لكل تركيبة من هذه التركيبات وتصنيع 336 آلة.

غير أن رأي تورينغ كان مختلفاً؛ إذ رأى أن الأفضل من زيادة عدد الآلات هو رفع سرعة كل آلة على حدة، وتقليص التركيبات التي يتعين التحقق منها مسبقاً عبر الاستنتاج الرياضي. وكتب في تقرير زيارته لدايتون رأياً مفاده أنه يجب على الجانب الأمريكي تركيز جهوده على رفع سرعة آلات بومب. واصطدمت آراء ديش وتورينغ حول التصميم. وفي النهاية، بلغت آلات بومب التي صنعها مختبر دايتون 121 آلة في المجمل بدلاً من 336 آلة.

مختبرات بيل وشفرة الصوت

كان لدى تورينغ مهمة ثانية، وهي فحص جهاز تشفير الصوت الذي كان قيد التطوير في مختبرات بيل في نيويورك. كان رئيس الوزراء البريطاني تشرشل والرئيس الأمريكي روزفلت يتحدثان عبر الهاتف اللاسلكي عبر المحيط الأطلسي، لكن جهاز تحويل الصوت المستخدم في ذلك الوقت كان ينطوي على خطر تنصت الألمان عليه. ولحل هذه المشكلة، كانت مختبرات بيل تعمل على تصنيع جهاز جديد عُرف لاحقاً باسم سيغسالي (SIGSALY).

لم تُفتح أبواب المختبر بسهولة؛ إذ تمسك الجانب الأمريكي برفض إطلاع أي شخص على جهاز في غاية السرية، حتى لو كان خبيراً من دولة حليفة. ولكي يتمكن تورينغ من رؤية هذا الجهاز، كان لا بد من تدخل المشير البريطاني جون ديل ليتوجه بطلب مباشر إلى الجنرال الأمريكي جورج مارشال. ونشأ خلاف كبير حول هذه القضية بين أجهزة استخبارات البلدين.

في يناير 1943، بدأ تورينغ عمله أخيراً في مختبرات بيل. كان سيغسالي جهازاً ضخماً يملأ غرفة كاملة، وتزن أجهزته عشرات الأطنان. كان الجهاز يحول الصوت إلى إشارة رقمية، ثم يخلط الإشارة باستخدام أسطوانة فونوغرافية سُجل عليها ضجيج عشوائي تماماً لتكون بمثابة مفتاح. وكان لا بد من توفر أسطوانة مطابقة لدى الطرف المتلقي لاستعادة الصوت الأصلي.

دقق تورينغ رياضياً في مدى أمان هذا الجهاز حقاً. ولعب تقرير التقييم الذي كتبه دوراً أساسياً في القرار القاضي باعتماد الجهاز وتثبيته في لندن. وبدءاً من صيف عام 1943، استُخدم سيغسالي في المحادثات السرية التي ربطت بين لندن وواشنطن.

حديث في الكافتيريا

كان في مختبرات بيل باحث شاب يدعى كلود شانون. وشانون هو من سيؤسس لاحقاً نظرية المعلومات ويضع أسس الاتصالات الرقمية. التقى تورينغ بشانون خلال هذه الزيارة، وتناول الاثنان الغداء معاً في كافتيريا المختبر وتبادلا أطراف الحديث.

لم يكن بإمكان أي منهما التحدث عن المهام السرية المنوطة به، ولذلك اتجه الحديث إلى موضوعات مثل الآلات المفكرة وأوجه الشبه بين الدماغ البشري والآلات. كما تحدث تورينغ عن بحثه حول الآلة الشاملة الذي كتبه في عام 1936. وفي خضم الحرب، كان يجلس متقابلين شخصان سيفتحان لاحقاً آفاق الحواسيب والذكاء الاصطناعي.

العودة إلى بليتشلي بارك

عاد تورينغ إلى بريطانيا في مارس 1943. وخلال تلك الفترة، كان منصب رئيس الكوخ 8 (Hut 8) قد تولاه بطل الشطرنج السابق هيو ألكسندر. كان ألكسندر يدير بالفعل الشؤون اليومية للكوخ 8، وكان بارعاً في إدارة الأفراد أيضاً. وكان هذا التغيير أمراً مرحباً به بالنسبة لتورينغ؛ لأنه كان يفضل حل المشكلات على التعامل مع الأوراق والاجتماعات.

لم يكن تغيير رئيس القسم ليعني الاستهانة بمساهمات تورينغ؛ فقد كتب ألكسندر لاحقاً أثناء توثيقه لتاريخ الكوخ 8 أنه لا شك في أن أبحاث تورينغ كانت السبب الأكبر لنجاح هذا القسم. ولم يعد تورينغ مقيداً بقسم واحد، بل تولى دوراً استشارياً لمساعدة بليتشلي بارك بأكمله في معالجة مسائل التشفير الصعبة.

10.2. جهاز تشفير الصوت ديلايلا

ترك نظام سيغسالي الذي شاهده تورينغ في مختبرات بيل مسألةً شغلت باله؛ فمع أن سيغسالي كان آمناً، إلا أنه كان شديد الضخامة، ولم يكن بوسع جندي في ساحة المعركة أن يحمل جهازاً يملأ غرفة كاملة. وتمثلت المسألة في إمكانية إخفاء الصوت البشري تماماً بواسطة دوائر إلكترونية ثم استرجاعه باستخدام جهاز أصغر حجماً بكثير. وقرر تورينغ أن يصنع بنفسه جهاز تشفير صوتي يتسم بالصغر وخفة الوزن بما يتيح استخدامه في العمليات الميدانية الفعلية.

المختبر السري في هانسلوب بارك

كان المكان الذي أقام فيه تورينغ مختبره الجديد هو هانسلوب بارك (Hanslope Park). وكانت هذه المنشأة تُستخدم من قِبل قسم الأمن اللاسلكي التابع لجهاز الاستخبارات السرية البريطاني، وكانت تضم ورشاً لصناعة الأجهزة الإلكترونية واختبارها يدوياً. واليوم، يقع مركز الاتصالات الحكومية البريطانية في هذا الموقع نفسه.

كان هانسلوب بارك يبعد عن بليتشلي بارك مسافة 16 كيلومتراً تقريباً عبر طرق ريفية، وكان تورينغ يتردد بين المكانين راكباً دراجته. وبدأ العمل على مشروع ديلايلا هناك في عام 1943، واعتباراً من عام 1944 استقر للعمل والإقامة في هانسلوب بارك بالكامل.

المهندس الشاب دونالد بيلي

في عام 1944، جاء المهندس الكهربائي دونالد بيلي، خريج جامعة برمنغهام، ليعمل مساعداً لتورينغ. كان بيلي من مواليد عام 1921، أي أنه كان أصغر من تورينغ بتسع سنوات. وعندما رأى دوائر تورينغ لأول مرة، كانت الأسلاك متشابكة ومعقدة بصورة مربكة، وتذكر بيلي لاحقاً أن الدوائر كانت متشابكة كخيوط العنكبوت.

كان كل منهما أستاذاً للآخر؛ فعلّم بيلي تورينغ مهارات العمل اليدوي كاللحام وتمديد الأسلاك. وكان ينادي تورينغ بلقب 'بروف' (Prof) الذي يعني 'الأستاذ'، وهو اللقب الذي كان يطلقه عليه جميع من في بليتشلي وهانسلوب. وفي المقابل، قام تورينغ بتعليم بيلي وزملائه الفنيين الرياضيات اللازمة لتصميم الدوائر. وبعد تناول العشاء، كان تورينغ

يلقي محاضراته، ويسجل بيلي محتواها بدقة؛ فأصبحت هذه الدفاتر مرجعاً في الرياضيات المتقدمة لمهندسي الدوائر.

كيف كان ديلايلا يعمل

يمكن فهم مبدأ ديلايلا من خلال تقسيمه إلى ثلاث خطوات.

أولاً، يُحوَّل الصوت إلى إشارة كهربائية. فالصوت هو اهتزاز في الهواء، أي موجة. وفي ديلايلا، جرى استخراج سعة هذه الإشارة على فترات زمنية منتظمة واستخدامها في التشفير، وهو ما يُعرف بأخذ العينات (المعاينة أو Sampling). ومع أنها فكرة مستخدمة في التسجيل الرقمي اليوم، إلا أن ديلايلا استخدم دوائر إلكترونية تماثلية لمزج سعة الإشارة. وترك تورينغ أيضاً مذكرات رياضية درس فيها معدل استخراج الإشارة المطلوب لإعادة إنتاج الصوت الأصلي.

ثانياً، تُخلط إشارة المفتاح؛ حيث تقوم الآلة المرسلة بتوليد إشارة مفتاح تبدو عشوائية وتضيفها إلى إشارة الصوت بأسلوب محدد، فتتحول الكلمات المنطوقة الأصلية إلى ضجيج يصعب فهمه.

وأخيراً، تولد الآلة المتلقية إشارة المفتاح نفسها في اللحظة الزمنية نفسها، وتستعيد الصوت الأصلي من الإشارة المخلوطة. وكان ضبط إشارات المفاتيح وتوقيت التشغيل بدقة تامة بين الآلتين هو النقطة الجوهرية في تصميم ديلايلا.

يرتبط هذا المبدأ بالأفكار التي اكتسبها تورينغ في بليتشلي بارك أثناء التعامل مع شفرات التلغراف الألمانية؛ إذ طُبقت الفكرة ذاتها على الصوت بدلاً من الحروف. ولكن، خلافاً للحروف، يتدفق الصوت دون انقطاع، مما استلزم أن تعمل دوائر الصمامات المفرغة بسرعة ودقة. وقام تورينغ وبيلي بتعديل الدوائر تدريجياً مع تدوين نتائج التجارب واحدة تلو الأخرى في سجل يومياتهما.

اسم ديلايلا

ديلايلا (Delilah) هو الاسم بالإنجليزية للمرأة المذكورة في الكتاب المقدس، دليلة. وكانت دليلة هي الشخصية التي خدعت شمشون القوي واكتشفت سر قوته. وكان اسم شخص يخادع الآخرين ملائماً تماماً لجهاز يخدع المتنصتين بإسماعهم الضجيج فحسب دون أن يفطنوا لشيء. ولم يضع تورينغ هذا الاسم بمفرده؛ بل طرح مسابقة لاقتراح اسم للجهاز، وفاز بها صديقه روبن غاندي، الذي أصبح لاحقاً منفذ وصيته.

إخفاء صوت تشرشل واستعادته

واكتمل جهاز ديلايلا أخيراً. أجرى الاثنان عرضاً عملياً أمام مسؤولين حكوميين بريطانيين. وعند إدخال تسجيل صوتي لخطاب رئيس الوزراء تشرشل في جهاز ديلايلا، لم يخرج من مكبر الصوت سوى الضجيج. ولكن بمجرد مروره عبر الجهاز المتلقي، عاد صوت تشرشل ليُسمع بوضوح مرة أخرى. وتختلف المصادر قليلاً بشأن توقيت هذا العرض التجريبي؛ إذ تذكر دار المزادات بونهامز أنه جرى في أواخر عام 1944،

بينما يرى باحثون آخرون أنه كان في أوائل عام 1945.

في 8 مايو 1945، انتهت الحرب في أوروبا باستسلام ألمانيا غير المشروط. وقام تورينغ وبيلي بجولة مشي طويلة معاً احتفالاً بالنصر.

آلة لم تُستخدم وخبرة متبقية

لم يصل جهاز ديلايلا إلى ساحات القتال الحقيقية؛ فعندما اكتملت الآلة، كانت الحرب قد أوشكت على الانتهاء بالفعل، ولم يكن هناك وقت كافٍ لتصنيعها بأعداد كبيرة وتوزيعها على الجيش. كما كانت هناك قيود فرضها التصميم؛ إذ كان ديلايلا جهازاً مصمماً لخطوط الهاتف القصيرة أو الاتصالات اللاسلكية قريبة المدى، مما جعل من الصعب استخدامه في الاتصالات بعيدة المدى عبر المحيط الأطلسي. ولم يُصنع منه في الواقع سوى نموذج أولي واحد.

ورغم ذلك، كان هذان العامان بمثابة درس كبير لتورينغ؛ فتحول عالم الرياضيات الذي اعتاد الحساب على الورق إلى مهندس يتعامل مباشرة مع الصمامات المفرغة، ويقوم باللحام، ويصلح الدوائر المعطلة. وتعلّم بلمس يديه مدى سرعة عمل الدوائر الإلكترونية وأين تقع المشكلات فيها. وفي خريف عام 1945، صمم تورينغ الحاسوب الإلكتروني ACE في مختبر الفيزياء الوطني (NPL)، وقد تجسدت في ذلك التصميم كامل الخبرة التي اكتسبها في هانسلوب بارك.

دفاتر تظهر بعد أكثر من 70 عاماً

ظلت قصة ديلايلا مجهولة تقريباً لفترة طويلة. واحتفظ بيلي بالوثائق ذات الصلة حتى وفاته في عام 2020. وفي نوفمبر 2023، عُرضت هذه المواد المسماة 'أوراق بيلي' في مزاد بلندن وبيعت مقابل 381,400 جنيه إسترليني. وتضمنت حسابات ومذكرات كتبها تورينغ بيده، وسجلات تجارب، وملاحظات محاضرات دوّنها بيلي.

منعت الحكومة البريطانية خروج هذه المواد الثمينة من البلاد؛ ففي أغسطس 2024، اتُّخذ إجراء بتعليق تصديرها إلى الخارج مؤقتاً. وبعد ذلك، جُمع مبلغ زاد على 397,000 جنيه إسترليني، وفي مارس 2025 اشترت كلية كينغز في كامبريدج، حيث درس تورينغ وأجرى أبحاثه، هذه الوثائق. ونُقلت الوثائق إلى صيغة رقمية، لتنضم إلى سجلات وثائق تورينغ المتاحة للباحثين والطلاب حول العالم.

10.3. وسام الصمت (OBE)

سطر واحد في قائمة الأوسمة

عندما انتهت الحرب، منحت الحكومة البريطانية أوسمة لأولئك الذين خدموا البلاد، وكان تورينغ أحدهم. وكان الوسام الذي ناله هو رتبة 'ضابط' في وسام الإمبراطورية البريطانية، المعروف اختصاراً باسم OBE.

تنشر الحكومة البريطانية أسماء الحاصلين على الأوسمة في الجريدة الرسمية 'ذا لندن غازيت'. وفي الصفحة 3124 من العدد 37617 من جريدة لندن غازيت المؤرخ في 18

يونيو 1946، ورد أن آلان ماثيسون تورينغ، 'العامل في قسم تابع لوزارة الخارجية'، قد مُنح وسام OBE. ومع أن بعض المصادر تذكر أن قرار التكريم اتُّخذ في عام 1945، إلا أن التاريخ المنشور في الجريدة الرسمية هو يونيو 1946.

لم يكن في هذا السطر الواحد حرف واحد يوضح ما قام به؛ إذ لم يكن ممكناً تدوين إنيغما، ولا بومب، ولا بانبوريسموس، ولا ديلايلا. كما كانت طريقة استلام الوسام هادئة؛ فلم يذهب تورينغ إلى قصر باكنغهام لتسلم الوسام، بل وصل الوسام عبر البريد مع رسالة من الملك، ويُقال إن تورينغ احتفظ بهذا الوسام في علبة صفيح تحتوي على براغٍ ومسامير وصواميل.

قفل قانون الأسرار الرسمية

كان السبب في عدم تمكن تورينغ من الحديث عن إنجازاته يعود إلى قانون الأسرار الرسمية (Official Secrets Act)؛ إذ أقسم كل من عمل في بليتشلي بارك وهانسلوب بارك على الحفاظ على السرية وفقاً لهذا القانون. وحتى بعد انتهاء الحرب، لم يُرفع هذا القسم؛ فلم يكن بإمكانه إخبار عائلته، أو أصدقائه، أو الصحفيين بما فعله.

ولم تكن والدة تورينغ استثناءً؛ فقد كتبت والدته سارة تورينغ سيرة حياة ابنها في وقت لاحق، وذكرت في ذلك الكتاب أنها لم تتلقَّ أي تلميح على الإطلاق حول عمل ابنها السري. كما كتبت أن رسائل ابنها أصبحت نادرة ومقتضبة بسبب الصمت المفروض عليه. حتى والدته عاشت دون أن تعرف ما الذي حققه ابنها في الحرب.

إنجازات لم تُعرف

في الحرب ذاتها، نال العلماء الذين طوروا الرادار أو القنبلة الذرية شهرة واسعة بعد انتهاء الحرب وتولوا قيادة معاهد بحثية كبرى، لكن حال تورينغ كان مختلفاً؛ فقد أسهم عبر فك التشفير في حماية عدد لا يحصى من سفن النقل وأرواح البشر، بيد أن الذين عرفوا ذلك لم يكونوا سوى قلة احتفظوا بالسر سوياً. ويرى كثير من المؤرخين أن نشاط مفككي الشفرات في بليتشلي بارك قد اختصر الحرب بنحو عامين، وكان تورينغ في صميم ذلك الإنجاز.

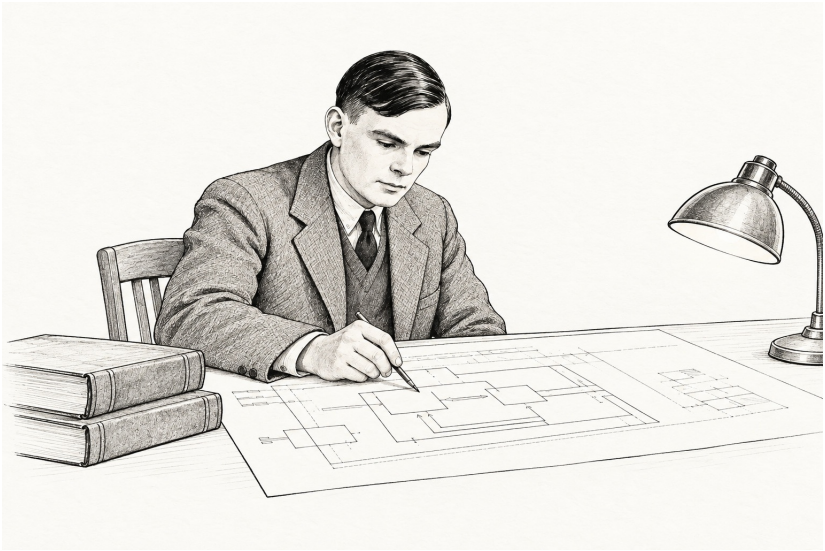
امتد أثر الصمت أيضاً إلى أبحاث تورينغ بعد الحرب؛ ففي خريف عام 1945، التحق تورينغ بمختبر الفيزياء الوطني وبدأ العمل على صناعة الحواسيب. ولم يكن معظم من هناك يعرفون أن تورينغ شخص صنع دوائر إلكترونية بنفسه أثناء الحرب. ولم يكن تورينغ قادراً على تقديم خبرته كدليل، وكان عليه أن يقنعهم مجدداً من البداية.

لم تبدأ أسرار بليتشلي بارك في الظهور للعالم شيئاً فشيئاً إلا في سبعينيات القرن العشرين. وفي عام 1974، ومع صدور كتاب يتناول فك الشفرات في زمن الحرب، أصبحت العملية الاستخباراتية السرية المسماة 'ألترا' معروفة على نطاق واسع، وذلك بعد مرور 20 عاماً على رحيل تورينغ. أما التفاصيل الدقيقة لجهاز ديلايلا، فلم تتكشف إلا بعد قرابة نصف قرن آخر، حين عُرضت دفاتر بيلي في المزاد.

كان الوسام المحفوظ داخل علبة الصفيح اعترافاً رسمياً ناله تورينغ، لكن لم يعلم أحد

لفترة طويلة ما الذي كان يكرّمه ذلك الوسام.

الفصل 11: مختبر الفيزياء الوطني (NPL) وتصميم الحاسوب المبكر ACE (1945-1948)



الشكل 11: رسم توضيحي يصور تورينغ وهو يضع تصورًا لتصميم الحاسوب.

انتهت الحرب العالمية الثانية، التي استمرت قرابة 6 سنوات، في أوروبا في مايو 1945. ومع انتهاء الحرب، عاد الأشخاص الذين عملوا في بلتشلي بارك وهانسلوب بارك واحدًا تلو الآخر إلى أماكنهم الأصلية، وكان على آلان تورينغ أيضًا أن يبحث عن مسار جديد. وفي يونيو من ذلك العام، احتفل تورينغ بعيد ميلاده الثالث والثلاثين.

خلال الحرب، تعامل تورينغ مع العديد من الآلات عن قرب وراقبها. فقد صمم آلة بومب لفك تشفير إنيغما، وشاهد حاسوب كولوسوس، الذي صنعه زملاؤه باستخدام آلاف الصمامات المفرغة، وهو يجري الحسابات بسرعة فائقة. وفي أواخر الحرب، قام بنفسه بعمليات اللحام لصنع جهاز تشفير الصوت ديلايلا. ومن خلال هذه التجارب، أصبح تورينغ على يقين من أمر واحد: إذا استخدمت دوائر إلكترونية مصنوعة من الصمامات المفرغة، فسيكون من الممكن بالفعل بناء 'الآلة الشاملة' التي رسمها على الورق في ورقته البحثية عام 1936.

الآلة الشاملة هي فكرة مفادها أن آلة واحدة يمكنها إنجاز أي عملية حسابية. فحتى لو تغيرت طبيعة الحسابات، فلا حاجة لصنع آلة جديدة، بل يكفي فقط تغيير الأوامر المدخلة إلى الآلة، أي البرنامج. وبهذا المبدأ تحديدًا تعمل الحواسيب والهواتف الذكية التي نستخدمها اليوم. ولهذا السبب يمكننا استخدام الهاتف الذكي نفسه لممارسة الألعاب، وتصفح الخرائط، وأداء الواجبات المدرسية. وفي خريف عام 1945، نال تورينغ فرصة نقل هذه الفكرة إلى آلة حقيقية.

11.1 الانضمام إلى مختبر الفيزياء الوطني (NPL)

في تيدينغتون غرب لندن، يقع مختبر الفيزياء الوطني البريطاني. ويُعرف عادة باسم NPL اختصارًا للحروف الأولى من اسمه باللغة الإنجليزية National Physical Laboratory. ومختبر NPL هو معهد أبحاث حكومي يحدد المعايير الوطنية مثل الطول والوزن والوقت، ويجري أبحاثًا علمية متنوعة.

مع اقتراب نهاية الحرب، قررت الحكومة البريطانية إنشاء قسم جديد للرياضيات داخل NPL. وكانت الخطة تهدف إلى استثمار تقنيات الحوسبة، التي تطورت بشكل كبير خلال الحرب، في مجالي العلوم والصناعة. وكان رئيس القسم الجديد هو عالم الرياضيات التطبيقية جون آر. وومرسلي (John R. Womersley). وكان وومرسلي واحدًا من قلة قليلة قرأوا ورقة تورينغ البحثية التي كتبها عام 1936 بعنوان 'عن الأعداد القابلة للحساب، مع تطبيق على مسألة اتخاذ القرار' وأدركوا قيمتها في وقت مبكر.

في ذلك الحين، كان معظم الناس يعتبرون الآلة الحاسبة أداة تنجز مهمة واحدة فحسب. فالآلة المصممة لحساب مسار القذائف لم تكن تقوم إلا بتلك الحسابات، وكان يتطلب إجراء حسابات أخرى آلة مختلفة. وكان الحاسوب الإلكتروني الكبير إينياك (ENIAC)، الذي اكتمل بناؤه في الولايات المتحدة عام 1945، مشابهًا لذلك. ورغم أن إينياك كان آلة عملاقة استُخدم فيها نحو 18,000 صمام مفرغ، إلا أنه في كل مرة يُراد فيها حل مسألة جديدة، كان يتعين على البشر نزع الأسلاك يدويًا وإعادة توصيلها وتغيير المفاتيح واحدًا

تلو الآخر. بل كان التحضير للحسابات يستغرق أحيانًا عدة أيام.

أراد وومرسلي بناء حاسوب إلكتروني كبير في NPL، واختار تورينغ ليتولى هذا العمل. وعندما زار وومرسلي تورينغ، عرض عليه تقريرًا كان قد صدر للتو في الولايات المتحدة. كان ذلك 'المسودة الأولى لتقرير عن EDVAC'، الذي كتبه في يونيو 1945 عالم الرياضيات الأمريكي المجري الأصل جون فون نيومان. وشرح هذا التقرير البنية الأساسية للحاسوب الذي يعمل عن طريق تخزين البرامج داخل الآلة، أي حاسوب البرامج المخزنة. وكان فون نيومان على دراية بأبحاث تورينغ منذ الفترة التي درس فيها تورينغ في برينستون. ورأى وومرسلي أن جزءًا كبيرًا من الأفكار الجوهرية في تقرير EDVAC يعود في الأصل إلى تورينغ.

في 1 أكتوبر 1945، باشر تورينغ عمله لأول مرة كباحث رئيسي في قسم الرياضيات في NPL. وأطلق وومرسلي على مشروع الحاسوب الجديد اسم ACE، وهو اختصار لـ Automatic Computing Engine، ويعني 'محرك الحوسبة الآلي'. وتكمن وراء كلمة 'محرك' (Engine) قصة؛ ففي القرن 19، أطلق عالم الرياضيات البريطاني تشارلز بابيج اسمي 'محرك الفروق' و'المحرك التحليلي' على آلات الحساب التي صممها وكانت تعمل بالتروس. وأدرج وومرسلي الكلمة نفسها في ACE تخليدًا لذكرى بابيج. وكان هذا الاسم يحمل أيضًا دلالة أن تورينغ يواصل تحقيق الحلم الذي راود بابيج قبل 100 عام.

على خلاف إينياك، لم يكن الحاسوب الذي تصوره تورينغ يتطلب إعادة توصيل الأسلاك. فالآلة تبقى على حالها، ولا يُدخل إليها سوى البرامج والبيانات الجديدة. وحينها يمكن

للآلة نفسها أن تحسب حالة الطقس اليوم، وتحسب الحمل الذي يتحمله الجسر غدًا، وتلعب الشطرنج بعد غد. لم يكن تورينغ يرى في ACE مجرد حاسبة تحسب الأرقام بسرعة، بل اعتبره آلة قادرة على أداء العديد من الأعمال الفكرية التي يقوم بها العقل البشري. وكان تجسيد الآلة الشاملة لعام 1936 عبر الصمامات المفرغة والأسلاك هو المهمة الموكلة إلى تورينغ في NPL.

11.2 تقرير ACE

عمل تورينغ بوتيرة سريعة. ففي أواخر عام 1945، قبل أن تنقضي 3 أشهر على انضمامه إلى NPL، أتم تورينغ تقرير تصميم ACE. وكان العنوان 'مقترح حاسبة إلكترونية (Proposed Electronic Calculator)'. وتضمن هذا التقرير، المطبوع على الآلة الكاتبة في 48 صفحة، مخططات للدوائر، ووصفًا للمكونات، وتصميمًا لوحدة الذاكرة، وميزانية، وحتى أمثلة لبرامج يمكن تشغيلها فعليًا. وإذا كان تقرير EDVAC لفون نيومان مسودة غير مكتملة تشرح الهيكل العام، فإن تقرير تورينغ كان أقرب إلى مخطط تنفيذي يمكن بناؤه باتباعه مباشرة.

في 19 مارس 1946، عرض تورينغ خطة ACE على اللجنة التنفيذية في NPL، ووافقت اللجنة على المضي قدمًا في تنفيذ الخطة. وحسب تورينغ أن بناء ACE سيكلف 11,200 جنيه إسترليني. كما تضمن التقرير ما يمكن لـ ACE إنجازه؛ حيث رأى تورينغ أن ACE قادر ليس فقط على الحسابات العلمية المعقدة، بل أيضًا على حل الألغاز والتنبؤ بعدة نقلات مسبقة في لعبة الشطرنج.

كان الجزء الذي فصل فيه تورينغ في تقريره هو جهاز التخزين (الذاكرة). فلكي يعمل الحاسوب، لا بد من حفظ البرامج والأرقام في مكان ما، ويسمى هذا الجهاز جهاز التخزين أو الذاكرة. ورأى تورينغ أن الذاكرة هي أصعب معضلة في تصميم الحاسوب، وأنه إذا حُلت هذه المعضلة فإن بقية الدوائر ستكون سهلة نسبيًا. وفي تلك الأيام، لم تكن هناك ذواكر أشباه الموصلات مثل تلك الموجودة اليوم. ولو صُنعت وحدة الذاكرة من الصمامات المفرغة، لكان تخزين رقم واحد يتطلب صمامات متعددة، وهو ما كان سيجعل التكلفة والحجم غير محتملين.

كانت الطريقة التي اختارها تورينغ هي خط تأخير الزئبق. وخط تأخير الزئبق هو جهاز انبثق من تقنية الرادار أثناء الحرب. يُملأ أنبوب فولاذي يبلغ طوله نحو 1.5 متر (5 أقدام) بمعدن الزئبق السائل، وتُثبت قطعة من بلورة الكوارتز عند كل من الطرفين. تحول البلورة الإشارات الكهربائية إلى إشارات صوتية، وتعاود تحويل الإشارات الصوتية إلى إشارات كهربائية. وعند إرسال نبضة صوتية تمثل 0 و1 من أحد الطرفين، ينتقل الصوت عبر الزئبق ليصل إلى الطرف الآخر. وعند إعادة إرسال هذه الإشارة إلى موضع البداية، تدور الأرقام داخل الأنبوب دون توقف. وهكذا تحفظ الآلة الأرقام عبر إبقائها في حالة دوران مستمر. ويسهل فهم هذا الأمر إذا تخيلنا عدائين يطوفون دون توقف حول مضمار الملعب؛ فكأن كل عداء يحمل رقمًا واحدًا ويركض به.

اعتزم تورينغ ربط نحو 200 أنبوب من هذه الأنابيب معًا. وبما أن الأنبوب الواحد يمكنه استيعاب نحو 1,024 من 0 و1، فإن المجموع الإجمالي يصل إلى نحو 200,000. وإذا حُوّل ذلك إلى وحدات اليوم، فإنه يعادل نحو 25 كيلوبايت. ومع أن هذه السعة أصغر

بكثير من صورة واحدة تلتقطها الهواتف الذكية اليوم، إلا أنها كانت ذاكرة هائلة لم يسبق لأحد امتلاك مثلها في عام 1946.

كان تورينغ يدرك أيضًا نقطة ضعف خطوط تأخير الزئبق؛ فنظرًا لأن الأرقام تدور داخل الأنبوب، كان لا بد من الانتظار حتى يصل الرقم المطلوب إلى مخرج الأنبوب. وإذا طال زمن الانتظار، تباطأت الحسابات. لذلك، رتب تورينغ المواقع داخل الذاكرة بعناية فائقة بحيث يصل الأمر والرقم التاليان المطلوب استخدامهما إلى المخرج في اللحظة المحددة التي تدعو الحاجة إليهما فيها. ولاحقًا، أطلق الناس على هذه الطريقة اسم 'البرمجة المثلى'. وكانت تهدف إلى تقليص وقت الانتظار في خطوط التأخير لزيادة سرعة الحسابات.

حدد تورينغ أيضًا سرعة الآلة. يعمل الحاسوب وفق إيقاع زمني منتظم، ويسمى هذا الإيقاع بالساعة. وحدد تورينغ ساعة ACE عند 1 ميغاهرتز، وهو ما يعني العمل بإيقاع يبلغ 1,000,000 مرة في الثانية الواحدة. وكانت تلك سرعة فائقة بمعايير ذلك الزمان.

اشتمل تصميم ACE على فكرة أخرى تعبر عن نهج تورينغ المتميز: استخدام أقل قدر ممكن من مكونات الآلة، وإيكال المهام المعقدة إلى البرنامج. وكان المهندسون الأمريكيون يصممون دوائر مخصصة لعمليات الضرب أو القسمة، وكلما زادت الدوائر، ازداد عدد الصمامات المفرغة. غير أن تورينغ لم يتبع هذا الأسلوب؛ بل جعل الآلة تقتصر على الأوامر البسيطة كالجمع والطرح ونقل الأرقام، بينما عالج حسابات مثل الضرب والقسمة والجذور التربيعية عبر برامج تربط الأوامر البسيطة عدة مرات متتالية. وأطلق تورينغ

على هذه البرامج اسم 'جداول التعليمات (instruction tables)'.

كان هناك سبب وراء هذا التصميم؛ فالصمامات المفرغة مكونات سريعة التلف كالمصابيح الكهربائية، وكلما كثرت، زاد توقف الآلة عن العمل. ومع تقليص الصمامات المفرغة، تقل الأعطال ويسهل صنع الآلة. أراد تورينغ بناء آلة خفيفة، وسد أوجه القصور عبر برامج محكمة الصياغة. وكان يرى أن برمجة الحواسيب هي العمل ذاته الذي كان يمارسه منذ عام 1936. وبعد عقود من الزمن، أعاد مصممو الحواسيب اكتشاف طريقة تقليص التعليمات لتكون بسيطة بغية رفع السرعة، ويُعد تصميم تورينغ نموذجًا رائدًا جسد تلك الفكرة أولاً.

ولإسناد العديد من المهام إلى البرامج، برزت الحاجة أيضًا إلى طريقة لكتابة البرامج بكفاءة. وتضمن التقرير فكرة الروتين الفرعي؛ وهي طريقة تقوم على إعداد الحسابات الشائعة الاستخدام في صورة برامج صغيرة مستقلة، واستدعائها كلما دعت الحاجة، ثم الرجوع إلى الموضع الأصلي. ويشبه ذلك كتابة 'طريقة صنع الصلصة' مرة واحدة فقط في كتاب الطهي، والرجوع إلى تلك الصفحة في وصفات أطباق متعددة. ويستخدم المبرمجون اليوم هذه الطريقة يوميًا.

في 20 فبراير 1947، ألقى تورينغ محاضرة حول ACE في جمعية لندن للرياضيات. وفي هذا اللقاء، تقدم تورينغ خطوة إلى الأمام متجاوزًا شرح التصميم؛ حيث قال إن ما نتطلع إليه هو آلة تتعلم من التجربة. وكانت فكرته أن الآلة قادرة على أن تتطور تدريجيًا بتعديل أوامرها الخاصة بنفسها. وفي وقت لم يكن يوجد فيه في العالم حاسوب برامج

مخزنة واحد يعمل بصورة سليمة، كان تورينغ يتحدث بالفعل عن آلات قادرة على التعلم.

11.3 جدار البيروقراطية وسنة التفرغ العلمي في كامبريدج

كانت المخططات ممتازة، غير أن بناء الآلة لم يحرز تقدمًا يُذكر. وكانت العقبات متعددة.

كانت المعضلة الكبرى في الكوادر البشرية. فمع أن قسم الرياضيات في NPL كان يضم عددًا كبيرًا من الرياضيين، إلا أنه افتقر إلى المهندسين الإلكترونيين القادرين على بناء دوائر الصمامات المفرغة بأنفسهم. وكان تورينغ يأمل في الحصول على مساعدة المهندسين تومي فلاورز وألان كومبس من معهد أبحاث هيئة البريد (دوليس هيل)، اللذين بنيا كولوسوس خلال الحرب. غير أن مختبر دوليس هيل كان منهمكًا في إصلاح شبكة الهاتف التي دمرتها الحرب.

وكانت السرية أيضًا عقبة كأداء؛ إذ كان حاسوب كولوسوس سرًا من أسرار الدولة. ولم يكن بوسع تورينغ أن يفصح للعاملين في NPL عن أن آلة إلكترونية تضم آلاف الصمامات المفرغة كانت تعمل بالفعل دون توقف أثناء الحرب. ورأى زملاؤه في NPL، الذين لم تكن لديهم دراية بكولوسوس، أن ACE حلم بعيد المنال.

كما اتسم سير العمل في المعهد بالبطء. وكان مدير NPL هو السير تشارلز داروين، حفيد تشارلز داروين الشهير بنظرية التطور. كان المدير داروين إداريًا حذرًا يبت في القرارات

واحدًا تلو الآخر عبر الاجتماعات والمعاملات الورقية. وطالت النقاشات حول القسم الذي سيبني الآلة وكيفية توزيع العمل مع معاهد الأبحاث الأخرى. كما طُرحت آراء تقترح البدء بصنع آلة تجريبية صغيرة أولاً. إلا أن تورينغ كان يرغب في الانطلاق مباشرة لبناء الآلة الكاملة بدلاً من إضاعة الوقت في آلة تجريبية. وحتى تلك الآلة التجريبية لم تكتمل في نهاية المطاف.

أصاب تورينغ الإنهاك تدريجيًا. فبينما ظل تصميمه حبيس أكوام الأوراق، كانت الفرق البحثية في بلدان وجامعات أخرى تتقدم بخطوات واسعة. ونفّس تورينغ عن ضيقه برياضة الجري؛ فأثناء وجوده في NPL، انضم إلى نادي والتون لألعاب القوى القريب ومارس الجري لمسافات طويلة. ويُروى أنه كان يركض من المعهد إلى قاعة الاجتماعات في الأيام التي تُعقد فيها اجتماعات في لندن. وفي أغسطس 1947، شارك في ماراثون جمعية ألعاب القوى للهواة (AAA) البريطانية، محققًا المركز 5 بزمن قدره 2 ساعة و46 دقيقة و3 ثوانٍ. وكان هذا رقمًا قياسيًا يتيح له التطلع للمنافسة على تمثيل البلاد في أولمبياد لندن 1948. غير أن إصابة في ساقه حالت دون تحقيق ذلك الحلم.

في خريف عام 1947، تقدم تورينغ بطلب للحصول على إجازة تفرغ علمي لمدة 1 عام من NPL وعاد إلى كلية كينغز في كامبريدج. وإجازة التفرغ العلمي هي فترة يبتعد فيها الباحث مؤقتًا عن عمله المعتاد للراحة أو لمتابعة دراسات جديدة. وبعد مغادرة تورينغ، تولى مساعده جيم ويلكنسون قيادة فريق ACE في NPL.

في كامبريدج، شرع تورينغ في دراسات جديدة؛ حيث تعمق في علم وظائف الأعضاء

وعلم الأعصاب رغبة في فهم كيفية عمل الدماغ والأعصاب البشرية، لإيمانه بأنه لصنع آلة تفكر، يتعين أولاً فهم العضو المفكر، وهو الدماغ. وقادت هذه الدراسات لاحقًا إلى أبحاث تسعى لتفسير الأنماط التي تظهر على أجساد الكائنات الحية رياضيًا.

في صيف عام 1948، نسق تورينغ أفكاره التي تجمعت لديه وقدم تقريرًا إلى NPL بعنوان 'الآلات الذكية (Intelligent Machinery)'. وكان هذا البحث دراسة محددة لكيفية بناء الآلة القادرة على التعلم التي تحدث عنها في محاضرته بجمعية لندن للرياضيات. ويعد العديد من الباحثين اليوم هذا التقرير من بين أولى الدراسات التي تناولت الذكاء الاصطناعي بصورة جادة وموسعة.

طرح تورينغ في تقريره مفهوم 'الآلات غير المنظمة'. وكانت نقطة انطلاقها تختلف عن الآلات المصممة بدقة منذ البداية لأداء مهام محددة؛ حيث تصور تورينغ نموذجًا شبكيًا يربط مكونات إلكترونية متعددة بصورة عشوائية. ورأى أنه إذا عُلّمت هذه الشبكة بمنحها الثواب والعقاب، فإن الروابط الجيدة ستبقى بينما تتغير الروابط السيئة، لتنمو الشبكة ذاتيًا وتتحول إلى آلة نافعة. ويشبه ذلك طريقة تعلم الطفل حين يتلقى المديح والتوبيخ. وتلك الفكرة شديدة الشبه بـ 'الشبكات العصبية الاصطناعية' التي تمثل قلب الذكاء الاصطناعي اليوم.

كما دوّن تورينغ فكرة 'البحث الجيني' أو 'البحث التطوري'؛ وهي طريقة تقوم على إدخال تعديلات عشوائية طفيفة على إجابات متعددة، ثم اختيار الأفضل منها وتكرار التعديل للوصول إلى حل جيد. وكان ذلك استعارة لأسلوب تطور الكائنات الحية عبر حقب زمنية

طويلة وتطبيقه في الحوسبة. وهي الفكرة التي تطورت لاحقًا تحت اسم 'الخوارزميات الجينية'.

رأى تورينغ في هذا التقرير مسارين متوازيين لتزويد الآلة بالذكاء: أحدهما أن يحدد الإنسان القواعد مسبقًا ويغذي بها الآلة، والآخر أن تكتسب الآلة الخبرة وتتعلم بنفسها. ولم يتمسك تورينغ بمسار واحد دون الآخر؛ بل اعتقد أن الآلة يمكنها أن تسلك المسارين معًا، تمامًا مثلما يتعلم الطفل موضوعات محددة في المدرسة ويكتشف الأمور بنفسه عبر اللعب والخبرة.

بيد أن المدير داروين لم يرحب بهذا التقرير؛ إذ عده مجرد مقال إنشائي ركيك كتبه تلميذ. ولم ينشر NPL التقرير، وظل بحث 'الآلات الذكية' حبيس أدراج ملفات المعهد لسنوات طويلة. ولم يُنشر هذا العمل في كتاب لأول مرة إلا عام 1968، بعد مرور 14 عامًا على رحيل تورينغ.

في الوقت ذاته، تواترت الأنباء من مانشستر؛ فقد عُين ماكس نيومان، الذي درّس المنطق لتورينغ في كامبريدج وعمل معه في بلتشلي بارك، أستاذًا في جامعة مانشستر وأنشأ مختبرًا للحوسبة. وقام مهندسا الرادار فريدي ويليامز وتوم كيلبورن ببناء حاسوب إلكتروني صغير هناك، أطلق عليه الناس اسم 'مانشستر بيبي' (Manchester Baby). وفي 21 يونيو 1948، نجح مانشستر بيبي في تشغيل برنامج مخزن في الذاكرة. وكانت تلك هي اللحظة الأولى التي يعمل فيها بالفعل حاسوب إلكتروني يعمل بالبرامج المخزنة داخليًا.

وجاء قرار تورينغ بالانتقال قبل أول تشغيل لآلة بيبي؛ فقد قبل عرض نيومان في ربيع عام 1948، وأبدى رغبته في الاستقالة لـ NPL في مايو. وفي سبتمبر من العام نفسه، بدأ العمل في جامعة مانشستر.

وحتى بعد رحيل تورينغ، استمر تصميم ACE على قيد الحياة. فقد قام ويلكنسون وزملاؤه، ومنهم دونالد ديفيز ومايك وودجر (Mike Woodger)، بتقليص تصميم تورينغ وبناء آلة صغيرة عُرفت باسم 'بايلوت (Pilot ACE) 'ACE. وشغّل بايلوت ACE أول برنامج له في 10 مايو 1950. ومع أنه احتوى على نحو 800 صمام مفرغ فقط، وهو عدد أقل بكثير من صمامات إينياك البالغة 18,000 صمام، إلا أنه كان يعمل بإيقاع 1 ميغاهرتز كما حدد تورينغ. وفي أوائل خمسينيات القرن العشرين، كان بايلوت ACE من بين أسرع الحواسيب في العالم. وبنت الشركة البريطانية إنجليش إلكتريك الحاسوب التجاري DEUCE استنادًا إلى هذه الآلة، وبدأت تسويقه في عام 1955. ولم يكتمل حاسوب ACE بالحجم الذي تصوره تورينغ في الأصل إلا عام 1958.

طوال السنوات 3 التي قضاها في NPL، لم يشهد تورينغ اكتمال حاسوب واحد صُنع بيديه. ومع ذلك، فقد وضع خلال هذه الفترة مخططات تفصيلية لحاسوب البرامج المخزنة، وطرح على العالم تساؤلًا جديدًا حول الآلات القادرة على التعلم. ويقبع بايلوت ACE اليوم في متحف العلوم في لندن. وتظهر صورة هذه الآلة إلى جانب صورة وجه تورينغ على ظهر ورقة فئة 50 جنيهًا إسترلينيًا التي أصدرتها بريطانيا في يونيو 2021.

الفصل 12. جامعة مانشستر وأول حاسوب ذي برنامج مخزن (1948–1951)



الشكل 12. يوضح فترة البحث في الحواسيب المبكرة.

في عام 1948، كان آلان تورينغ البالغ من العمر 36 عامًا عاكفًا على تصميم الحواسيب لأكثر من عامين في المختبر الفيزيائي الوطني (NPL) في تيدينغتون بالقرب من لندن. وكان تصميمه لمحرك الحوسبة الآلي ACE من أكثر تصاميم الحواسيب تفصيلًا في ذلك الوقت. غير أن وجود التصميم لم يكن يعني بناء الآلة؛ فقد كان هناك نقص في المهندسين لتولي أعمال البناء، وكانت القرارات تتأخر دائمًا. وكان تورينغ، الذي أراد بناء 'الآلة الشاملة' التي تصورها على الورق في عام 1936 كآلة إلكترونية حقيقية، يشعر بالإرهاق والتعب.

في ذلك الحين، دعاه عالم رياضيات كان يعرفه منذ زمن طويل، وهو الأستاذ ماكس نيومان من جامعة مانشستر.

12.1. دعوة ماكس نيومان والانتقال

بدأت علاقة تورينغ ونيومان في كامبريدج. ففي عام 1935، حضر تورينغ محاضرات نيومان حول 'أسس الرياضيات'. وقد عرض نيومان في هذه المحاضرات 'مسألة القرار' التي طرحها عالم الرياضيات الألماني ديفيد هيلبرت. وكانت المسألة تدور حول ما إذا كان من الممكن، وفقًا لإجراءات محددة تشبه عمل الآلة، التمييز دائمًا فيما إذا كانت جملة منطقية معينة قابلة للإثبات باستخدام قواعد منطقية محددة أم لا. وبعد أن تصدى تورينغ لهذا السؤال، كتب في عام 1936 ورقته البحثية بعنوان «عن الأعداد القابلة للحساب»، ومن هذه الورقة انبثق مفهوما آلة تورينغ والآلة الشاملة.

التقى الاثنان مرة أخرى في بليتشلي بارك خلال الحرب العالمية الثانية. قاد نيومان قسمًا

يسمى 'نيوماني' حيث فك شفرة لورينز التي كانت تستخدمها القيادة العليا الألمانية. ولتحقيق هذه الغاية، بنى المهندس تومي فلاورز فاك تشفير إلكترونيًا يسمى كولوسس باستخدام آلاف الصمامات المفرغة. كان كولوسس سريعًا، لكنه لم يكن قادرًا إلا على مهمة واحدة هي فك الشفرات، وكان تشغيله لمهام أخرى يتطلب إعادة توصيل المفاتيح والأسلاك يدويًا. رأى نيومان وتورينغ هناك بأم أعينهما مدى السرعة التي يمكن للدوائر الإلكترونية أن تحسب بها. وإذا أمكن تخزين البرامج في دوائر سريعة، فإن تغيير البرنامج سيمكن آلة واحدة من معالجة أنواع مختلفة من المسائل القابلة للحساب.

بعد انتهاء الحرب، أصبح نيومان أستاذًا للرياضيات البحتة في جامعة مانشستر. وفي عام 1946، حصل على منحة بحثية كبيرة قدرها 35,000 جنيه إسترليني من الجمعية الملكية البريطانية وأسس 'مختبر آلات الحوسبة'. وفي غضون ذلك، انضم مهندسان كانا قد عملا في أبحاث الرادار خلال الحرب إلى قسم الهندسة الكهربائية في جامعة مانشستر، وهما فريدي ويليامز وتوم كيلبورن. وسرعان ما انضم إليهما جيف توثيل.

اكتشف ويليامز وكيلبورن طريقة لتخزين 0 و1 باستخدام أنبوب أشعة الكاثود (CRT) الذي كان يُستخدم في شاشات الرادار. فعند رسم نقطة ضوء صغيرة على شاشة أنبوب أشعة الكاثود، تبقى شحنة كهربائية في ذلك الموضع لفترة وجيزة. ومن خلال تكرار قراءة هذا الأثر وإعادة كتابته، يمكن حفظ الأرقام. وأُطلق على هذا الجهاز اسم 'أنبوب ويليامز-كيلبورن'. وفي ذلك الوقت، كانت مختبرات أخرى تستخدم طريقة يتم فيها تمرير إشارات صوتية عبر أنابيب طويلة مملوءة بالزئبق، وهي طريقة تفرض الانتظار حتى يصل الرقم المطلوب إلى نهاية الأنبوب. وفي المقابل، كان أنبوب ويليامز-كيلبورن قادرًا

على قراءة الأرقام فورًا من أي موضع. إن قراءة البيانات من أي موقع مرغوب دون الحاجة إلى انتظارها بالتسلسل يشبه مبدأ ذاكرة الوصول العشوائي (RAM) اليوم.

دعا نيومان تورينغ إلى مانشستر، حيث توفرت التمويلات والمختبر والفريق الفني ووحدة الذاكرة. استقال تورينغ من NPL وتولى منصب قارئ (Reader) في قسم الرياضيات بجامعة مانشستر في سبتمبر 1948. ومنصب القارئ هو الرتبة التي تلي الأستاذ مباشرة. كما حصل على لقب 'نائب مدير مختبر آلات الحوسبة التابع للجمعية الملكية'. ومع ذلك، لم يكن لهذا المختبر مدير في الواقع. وتشير السجلات القديمة لجامعة مانشستر إلى أن هذا اللقب كان شرفيًا واسميًا فقط، ولم يكن من الواضح ما هي واجبات تورينغ الرسمية في البداية.

أبدى تورينغ اهتمامًا بالآلة هناك حتى قبل انتقاله إلى مانشستر. وتلقى قائمة التعليمات التي تعالجها الآلة مسبقًا، وكتب وأرسل برنامجًا لإجراء القسمة المطولة. وقام توثيل بتعديل هذا البرنامج ليتمكن من العمل على الآلة.

انقسم العمل في مختبر مانشستر إلى مسارين رئيسيين. تولى الفريق الفني بقيادة ويليامز وكيلبورن بناء هيكل الآلة الفعلي، مثل دوائر الصمامات المفرغة ووحدات التخزين. بينما تولى تورينغ كيفية إجراء الحسابات الفعلية بتلك الآلة، أي جانب البرمجة. كانت أساليب العمل مختلفة بين المهندسين الذين يقومون بلحام أجزاء الآلة بأنفسهم وعالم الرياضيات تورينغ الذي يتصور الآلة بالورقة والقلم، وكانت آراؤهم تتباين في بعض الأحيان. ومع ذلك، أحب تورينغ العمل في مانشستر حيث كان الحاسوب الإلكتروني

الحقيقي يعمل أمام عينيه.

12.2. مانشستر بيبي و Mark 1 ودليل المبرمج

قبل حوالي ثلاثة أشهر من وصول تورينغ إلى مانشستر، وقع حدث كبير في تاريخ الحواسيب هناك. ففي 21 يونيو 1948 بعد الساعة 11:00 صباحًا بقليل، نفذت آلة تجريبية صغيرة برنامجها الأول. كان الاسم الرسمي للآلة هو 'الآلة التجريبية صغيرة الحجم (SSEM)'، لكن الناس أطلقوا عليها اسم 'بيبي'.

لم تكن بيبي آلة صُنعت كحاسبة عملية منذ البداية، بل كانت جهازًا صُمم لاختبار ما إذا كان أنبوب ويليامز-كيلبورن يعمل بصورة صحيحة. وكانت سعة الذاكرة 32 رقمًا بسعة 32 بت لكل رقم، أي ما مجموعه 1,024 بت. وهو مقدار ضئيل جدًا مقارنة بالهواتف المحمولة اليوم. ومع ذلك، استطاعت بيبي استرجاع البرامج المخزنة داخل الذاكرة وقراءتها وتنفيذها تلقائيًا. ودون الحاجة إلى إعادة توصيل الأسلاك كما في كولوسس، كان بالإمكان جعلها تؤدي مهام مختلفة بمجرد تغيير المحتوى الموجود في الذاكرة. هذا هو 'الحاسوب ذو البرنامج المخزن'. وكانت بيبي أول حاسوب إلكتروني في العالم يعمل فعليًا بهذه الطريقة.

كتب توم كيلبورن البرنامج الأول. وكان برنامجًا للعثور على أكبر قاسم فعلي لعدد ما، أي أكبر قاسم للعدد باستثناء العدد نفسه. في البداية، اختُبر على أعداد صغيرة، وخلال أيام

قليلة وُسع نطاق الاختبار ليصل إلى 262,144، وهو العدد الناتج عن ضرب 2 في نفسه 18 مرة. وكان أكبر قاسم فعلي للعدد 262,144 هو 131,072. وهو جواب يمكن للإنسان معرفته بسرعة، لكن كان على الآلة العثور عليه عن طريق تجربة القسمة واحدًا تلو الآخر بدءًا من الأعداد الأكبر. وفي هذه العملية الحسابية، عملت بيبي دون توقف لمدة 52 دقيقة قبل أن تعرض الإجابة الصحيحة كنقاط ضوء على الشاشة. وأظهر هذا الإنجاز أن الأفكار التي طرحها تورينغ في ورقته البحثية لعام 1936 كانت تعمل على آلة فعلية.

عقب نجاح بيبي، شرع فريق البحث على الفور في توسيع هذه الآلة. وكان الحاسوب الذي صنعوه بهذه الطريقة هو 'مانشستر Mark 1'، والذي أصبح متاحًا للاستخدام في أبريل 1949. زادت سعة الذاكرة إلى 128 رقمًا بسعة 40 بت لكل رقم. كما أضافوا 'أسطوانة مغناطيسية' تسجل الأرقام مغناطيسيًا على سطح أسطوانة تدور بسرعة. وكان المنهج المتبع هو الاحتفاظ بالمحتوى المستخدم بكثرة في أنبوب أشعة الكاثود السريع، وتخزين كميات البيانات الكبيرة في الأسطوانة، وهو ما يشبه الطريقة التي تفصل بها حواسيب اليوم بين الذاكرة وجهاز التخزين.

تضمن Mark 1 أيضًا جهازًا يُدعى 'خط B'. وهو جهاز يقوم تلقائيًا بتغيير موضع الرقم التالي المراد قراءته عند تكرار نفس العملية الحسابية عدة مرات. ويُطلق عليه اليوم اسم 'سجل الفهرس'، وهو موجود في كل الحواسيب تقريبًا. وعند إحياء ذكرى بيبي، سجلت جمعية مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) أن Mark 1 كانت أول آلة تقدم سجل الفهرس.

بمجرد أن أصبح Mark 1 متاحًا للاستخدام، بدأ تورينغ العمل بهذه الآلة على الفور. وقبل ذلك، كان يتعين إدخال البرامج بالضغط على المفاتيح واحدًا تلو الآخر. وفي صيف عام 1949، ساعد تورينغ في الحصول على جهاز لإدخال وإخراج البرامج والأرقام باستخدام شريط ورقي مثقوب، وربطه بـ Mark 1.

في تلك الفترة، صب تورينغ جهوده على تنظيم طريقة يوجه بها البشر الأوامر للحاسوب. في الوقت الحاضر، نستخدم لغات برمجة بكلمات يمكن للإنسان قراءتها مثل 'print'. لكن حواسيب ذلك العصر كانت لا تتعامل إلا مع 0 و1. فقام تورينغ بتجميع الآحاد والأصفار في مجموعات من خمس خانات لتمثيل حرف أو رمز واحد. ومن خلال خمس خانات من 0 و1، يمكن تمثيل 32 احتمالًا مختلفًا. واستعار تورينغ شفرات الحروف المستخدمة في المبرقة الكاتبة وطابقها واحدًا لواحد مع هذه الاحتمالات الـ 32. وبدلًا من كتابة سلاسل طويلة من 0 و1، صار المبرمجون يكتبون البرامج بهذه الرموز. وقد قللت هذه الطريقة من أخطاء المستخدمين، إلا أنها كانت لا تزال تبدو للمبتدئين كشفرة غامضة.

أنشأ تورينغ برامج صغيرة منفصلة للحسابات شائعة الاستخدام، وتُعرف هذه باسم 'الروتينات الفرعية'. وكان من بينها روتينات فرعية لحساب الجذور التربيعية واللوغاريتمات والدوال المثلثية، وروتينات فرعية لطباعة النتائج على شريط ورقي. وكان بإمكان المبرمجين استدعاء هذه الروتينات واستخدامها عند الحاجة، فلم يعودوا بحاجة إلى كتابة نفس الحسابات من الصفر في كل مرة. وهذه الفكرة مطابقة لمفهوم 'المكتبات' التي يستخدمها المبرمجون اليوم. كما وضع تورينغ قواعد لنقل الأرقام بوحدة

تُدعى 'الصفحة' بين ذاكرة أنبوب أشعة الكاثود والأسطوانة المغناطيسية.

لم يقم تورينغ بهذا العمل بمفرده؛ إذ عملت سيسلي بوبلويل، التي درست الرياضيات، مساعدةً لتورينغ وكتبت برامج لـ Mark 1. وتفيد سجلات جامعة مانشستر بأن تورينغ أعد البرمجيات الأولى لـ Mark 1 بمساعدة كاملة بدوام كامل من بوبلويل.

جمع تورينغ هذه المواد المنظمة في كتيب بعنوان «دليل المبرمج للحاسبة الإلكترونية مانشستر Mark II». ويرجع سبب إدراج 'Mark II' في العنوان إلى أن تورينغ كان يطلق هذا الاسم على الآلة الجديدة التي كانت ستصل قريبًا من شركة فيرانتي. وقد كتب الدليل مسبقًا قبل وصول تلك الآلة، مستندًا في دليله إلى الخبرة التي اكتسبها من العمل على Mark 1. وتحتوي إحدى نسخ الطبعة الأولى الباقية على قائمة تصويبات مؤرخة في مارس 1951. ويعتبر العديد من المؤرخين هذا الكتاب أول دليل برمجة في العالم كُتب لحاسوب ذي برنامج مخزن.

شرح تورينغ أيضًا في هذا الدليل ماهية الحاسبة الإلكترونية. ويمكن صياغة فكرته على النحو التالي: الحاسبة الإلكترونية هي آلة تحل محل الحسابات التي كان يؤديها إنسان يتبع القواعد المحددة بحذافيرها. هذا الشخص يعرف كيف يحسب، لكنه لا يحكم بنفسه. لم ينظر تورينغ إلى الحاسوب كدماغ غامض، بل رآه كحاسب فائق السرعة يتبع القواعد دون تفويت أي منها.

كانت هناك أيضًا تعليمة لافتة للنظر في الدليل، وهي تعليمة 'الهوت'. وكانت تعليمة تجعل

مكبر الصوت المتصل بالحاسوب يصدر صوت صفير، وكان الغرض منها في الأصل تنبيه الشخص الواقف أمام الآلة إلى توقف الحسابات. ومع ذلك، فإن إصدار هذا الصوت بسرعة عدة مرات كان كفيلًا بإنتاج نغمات ذات درجات صوتية مختلفة. ودون تورينغ هذه الطريقة في الدليل، وأصبح ذلك لاحقًا نقطة البداية لموسيقى الحاسوب.

حظي حاسوب مانشستر بالاهتمام خارج المختبر أيضًا. ففي 9 يونيو 1949، ألقى جيفري جيفرسون، جراح الأعصاب في مانشستر، محاضرة بعنوان «عقل الرجل الآلي». وقال فيها إن الآلات لا يمكنها التفكير أو الشعور كالبشر. وفي اليوم التالي تناولت الصحف هذه المحاضرة، وقام صحفي بزيارة تورينغ. وفي 11 يونيو 1949، نشرت صحيفة «ذا تايمز» مقالًا بعنوان «عقل الآلة: إيجاد حل لمسألة حسابية عمرها 300 عام». والمقصود بـ 'المسألة الحسابية التي عمرها 300 عام' هنا كان مسألة تحديد أي الأعداد الأولية تقع ضمن الأعداد الناتجة عن ضرب العدد 2 في نفسه عدة مرات ثم طرح 1. وتُسمى هذه الأعداد بأعداد ميرسين. وكان نيومان وتورينغ يستعدان منذ صيف عام 1948 لحل هذه المسألة باستخدام آلة مانشستر.

وفي هذا المقال، قال تورينغ: 'هذا مجرد تذوق لما سيأتي، ومجرد ظل لما سيكون'. ورأى أن الآلات ستدخل المجالات التي يعالجها الذكاء البشري، وأنها ستتمكن يومًا ما من منافسة الإنسان. وبعد 72 عامًا، في عام 2021، أصدرت بريطانيا ورقة نقدية جديدة من فئة 50 جنيهًا إسترلينيًا تحمل صورة وجه تورينغ، وقد كُتبت هذه العبارة على تلك الورقة النقدية.

أجرى تورينغ أيضًا أبحاثه الخاصة باستخدام Mark 1. ففي عام 1950، أجرى حسابات على هذه الآلة تتعلق بفرضية ريمان، وهي مسألة لم تُحل منذ فترة طويلة في الرياضيات. وفي العام نفسه، نشر ورقة بحثية بعنوان «آلات الحوسبة والذكاء»، وتناولت هذه الورقة السؤال عما إذا كان بإمكان الآلات أن تفكر.

12.3. استشارات حاسوب فيرانتي التجاري

وصلت أخبار نجاح بيبي إلى الحكومة البريطانية أيضًا. وقررت وزارة الإمداد الحكومية نقل تكنولوجيا جامعة مانشستر إلى إحدى الشركات لبناء حاسوب يمكن بيعه. وفي أواخر عام 1948، وقعت الحكومة عقدًا مع شركة فيرانتي للكهرباء في مانشستر. وكان الهدف أن تعيد الشركة بناء الآلة المصنوعة في المختبر الجامعي بهيكل متين لطرحها للبيع. وفي يوليو 1949، نُقل التصميم الأساسي للآلة الجديدة إلى شركة فيرانتي.

تولى تورينغ دور المستشار لشركة فيرانتي. وقدم آراء لمهندسي الشركة بشأن تصميم الآلة الجديدة وقواعد كتابة البرامج، وانعكست تلك الآراء في جوانب متعددة من الآلة.

وكان المثال الأبرز على ذلك هو 'مولد الأرقام العشوائية'. وهو جهاز يولد أرقامًا لا يمكن التنبؤ بها مسبقًا كما لو كان يُلقي نردًا. وبناءً على اقتراح تورينغ، زُوِّد حاسوب فيرانتي Mark 1 بجهاز يولد أرقامًا عشوائية باستخدام الضوضاء في الدوائر الإلكترونية. وتعد هذه الأرقام مفيدة للحسابات التي تحاكي الظواهر التي تنطوي على الصدفة كالطقس أو

الكائنات الحية، أو لبرامج ممارسة الألعاب. وفي الآلة الجديدة، زاد عدد خطوط B إلى ثمانية، كما أصبحت التعليمات أكثر عددًا.

كان موقف تورينغ هو إبقاء دوائر الآلة بسيطة قدر الإمكان ومعالجة المهام المعقدة عبر البرامج. فمع إضافة كل صمام مفرغ، تنشأ نقطة عطل إضافية محتملة وترتفع التكلفة. وعلى العكس من ذلك، متى كُتب البرنامج جيدًا مرة واحدة، فإنه يمكن إعادة استخدامه مرارًا وتكرارًا. وكان هذا الموقف امتدادًا لرؤية تورينغ منذ عام 1936، والتي مفادها أن 'آلة شاملة' واحدة يمكنها معالجة أنواع متعددة من المسائل القابلة للحساب بمجرد تغيير البرنامج.

في فبراير 1951، وصل أول حاسوب صنعته شركة فيرانتي إلى مختبر تورينغ في جامعة مانشستر. وأطلق الناس على هذه الآلة اسم 'فيرانتي Mark 1'. وكان فيرانتي Mark 1 أول حاسوب إلكتروني للأغراض العامة في العالم تصنعه شركة وتطرحه في السوق، متقدمًا ببضعة أسابيع على حاسوب يونيفاك 1 (UNIVAC I) الذي صُنع للبيع لأول مرة في الولايات المتحدة.

ومع وصول الآلة الجديدة، أدى دليل تورينغ دور دليل المستخدم، وتعلم البرمجة من خلاله كل من أراد استخدام هذه الآلة. وكان من بين هؤلاء صديق تورينغ، كريستوفر ستراشي. ففي عام 1951، كتب ستراشي برنامجًا للعبة الداما على هذه الآلة، وصنع أيضًا برنامجًا يعزف الموسيقى باستخدام تعليمة الهوت. وفي ذلك العام، زارت هيئة الإذاعة البريطانية (BBC) مانشستر، وسجلت صوت الحاسوب وهو يعزف النشيد الوطني

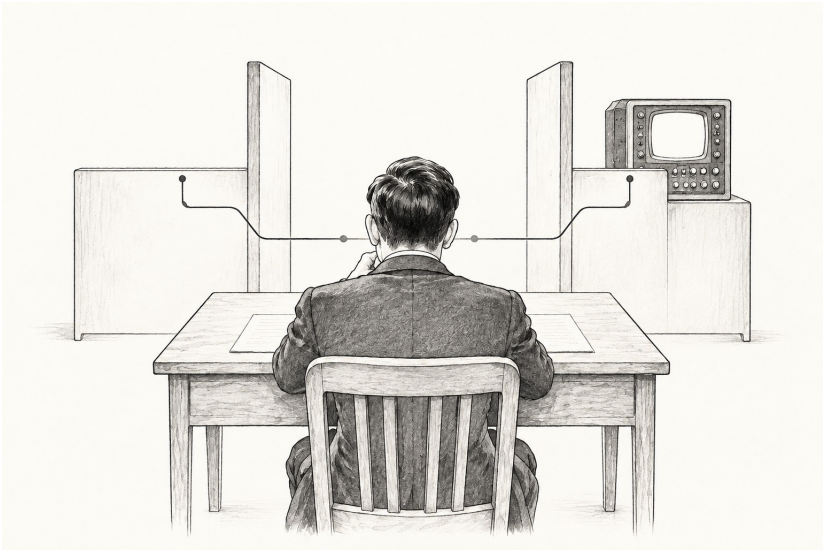
البريطاني وأغنيتي «Baa Baa Black Sheep» و«In the Mood». وأفادت جمعية الحفاظ على الحواسيب بأنها لا تعرف أي تسجيل لموسيقى الحاسوب يسبق هذا التسجيل.

استُخدم فيرانتي Mark 1 في حسابات العديد من العلماء والمهندسين. واستخدم تورينغ هذه الآلة أيضًا لحساب الآليات التي تتشكل بها الأنماط لدى الكائنات الحية.

قرابة عام 1951، تراجع تورينغ خطوة إلى الوراء عن العمل في بناء حواسيب مانشستر. وتولى الوافد الجديد توني بروكر مهمة مساعدة المبرمجين. ومع ذلك، فإن ما أرساه تورينغ استمر كما هو: طريقة كتابة التعليمات بالرموز، وأسلوب تجميع الروتينات الفرعية، والدليل الذي يُعلم الناس البرمجة. فحتى بوجود الآلة، تظل الحواسيب عديمة الفائدة إن لم تكن هناك طريقة لتكليفها بالعمل. وقد أرسى تورينغ الإطار الأول لتلك الطريقة في مانشستر.

في عام 1948، عمل الحاسوب الإلكتروني ذو البرنامج المخزن الذي صنعه مهندسو مانشستر، وفي عام 1951 ظهرت الآلة التجارية أيضًا. وتطورت نظريات الحوسبة لتتحول إلى آلات وبرامج فعلية بفضل عمل العديد من الباحثين والمهندسين. وخلال تلك المسيرة، ساهم تورينغ في النظريات والتصميم والبرمجة، وواصل أيضًا أبحاثه حول ذكاء الآلات.

الفصل 13. اختبار تورينغ: هل يمكن للآلة أن تفكر؟ (1950)



الشكل 13. رسم تخطيطي لمفهوم لعبة المحاكاة التي تميز بين الإنسان والآلة عبر المحادثة.

في أكتوبر 1950، نُشرت ورقة بحثية تمتد على 28 صفحة في العدد 236 من المجلد 59 للمجلة الفلسفية البريطانية «مايند (Mind)». كان عنوانها «آلات الحوسبة والذكاء (Computing Machinery and Intelligence)»، وكان كاتبها عالم الرياضيات البالغ من العمر 38 عامًا، آلان تورينغ، الذي كان يعمل نائبًا لمدير مختبر آلات الحوسبة في جامعة مانشستر. وتبدأ الورقة بسؤال قصير: "هل يمكن للآلات أن تفكر؟"

اليوم، يعتبر كثير من الناس هذه الورقة البحثية نقطة انطلاق لأبحاث الذكاء الاصطناعي. ومع ذلك، عندما نُشرت الورقة في عام 1950، لم يكن مصطلح 'الذكاء الاصطناعي' موجودًا بعد. فقد ظهر هذا المصطلح لأول مرة عام 1955 في مقترح بحثي كتبه الأمريكي جون مكارثي وزملاؤه، ثم انتشر على نطاق واسع عبر ورشة عمل بحثية صيفية عُقدت في كلية دارتموث عام 1956. وهكذا طرح تورينغ السؤال الذي سيشغل هذا المجال الأكاديمي طويلًا، حتى قبل أن يُطلق اسم على هذا العلم.

13.1. التحول الفلسفي وبحث «مايند (Mind)»

عالم رياضيات يكتب في مجلة فلسفية

حتى ذلك الوقت، كان تورينغ يعمل في المقام الأول كعالم رياضيات ومهندس تقني. وفي عام 1936، ابتكر آلة خيالية تحاكي حسابات أي آلة تورينغ أخرى باستخدام شريط ورقي وقواعد محددة، وهي ما عُرف بآلة تورينغ الشاملة. وخلال الحرب، صمم جهاز

'بومب' في بلتشلي بارك وابتكر تقنية إحصائية تُدعى 'بانبوريزموس' لفك شفرات الجيش الألماني. وبعد انتهاء الحرب، صمم حاسوب ACE في المختبر الفيزيائي الوطني، ومنذ عام 1948 تولى برمجة حاسوب يعمل فعليًا في جامعة مانشستر.

لكن كان لدى تورينغ سؤال آخر ظل يرافقه جنبًا إلى جنب مع هذه الأعمال. فمنذ أن فقد صديقه كريستوفر موركوم في سن 17 عامًا، انشغل طويلًا بالتفكير في ماهية العقل والروح، ومن أين ينشأ التفكير في الجسد. وعندما تحولت الحواسيب من مجرد أفكار وتصاميم على الورق إلى واقع ملموس، عاد هذا السؤال القديم في صورة جديدة: إذا كان تفكير الإنسان يتم في نهاية المطاف وفقًا لقواعد معينة، فهل يمكن للآلة أيضًا أن تفكر؟

ولم يقتصر هذا السؤال على اهتمامات تورينغ وحده؛ بل تصدر صفحات الجرائد في عام 1949. ففي يونيو من ذلك العام، ألقى جراح الأعصاب البروفيسور جيفري جيفرسون محاضرة في لندن زعم فيها أن الآلات لا يمكن أن تماثل الدماغ البشري. وتناولت صحيفة «ذا تايمز» هذه المحاضرة وذكرت في سياقها قصة حاسوب مانشستر، وسأل صحفي تورينغ عن رأيه، فأجاب تورينغ بما معناه أن ما يحدث الآن ليس سوى مقدمة وتذوق لما سيأتي في المستقبل.

لم يكتفِ تورينغ بإنهاء هذه المسألة برد مقتضب في مقال صحفي. بل قرر ترتيب أفكاره بتأنٍ ونشرها في مجلة أكاديمية يقرأها الفلاسفة، فكانت تلك المقالة المنشورة في مجلة «مايند». وكان رئيس تحرير المجلة في ذلك الوقت هو فيلسوف جامعة أكسفورد غيلبرت رايل. وهكذا، تناول شخص قام بنفسه بتصميم الحواسيب وبرمجتها مسألة

فلسفية تتمثل في العلاقة بين الآلات والتفكير، وذلك عبر صفحات موجهة للفلاسفة.

البداية بتغيير السؤال

في مستهل ورقته البحثية، شكك تورينغ في جدوى السؤال الذي طرحه بنفسه. ورأى أن سؤال "هل يمكن للآلات أن تفكر؟" غامض للغاية؛ فإذا حاول المرء تحديد معنى كلمتي 'الآلة' و'التفكير' أولًا، فسيقع في جدال لا نهاية له. ومن ناحية أخرى، رأى تورينغ أن محاولة الإجابة عبر استقصاء كيفية استخدام عامة الناس لهاتين الكلمتين في حياتهم اليومية يشبه حل مسألة علمية عن طريق استطلاعات الرأي العام.

لذلك، تخلى تورينغ عن السؤال الأصلي وطرح سؤالًا جديدًا ذا معنى واضح وقابل للاختبار عمليًا. وكانت فكرته ألا نبحث عما إذا كانت الآلة تفكر من خلال استبطان ما يجري في داخلها، بل أن نحكم عليها بناءً على الأفعال والسلوكيات التي تصدر عنها. وبهذا تحولت المسألة من خلاف حول تعريف الكلمات إلى مسألة يمكن تحديد شروطها والتحقق من نتائجها تجريبيًا؛ وكان ذلك تحولًا نقل سؤالًا فلسفيًا قديمًا إلى ميدان التجربة المختبرية.

تتكون الورقة البحثية من 7 أجزاء إجمالًا. في البداية، يقدم تورينغ سؤاله الجديد من خلال 'لعبة المحاكاة'، ويوضح أن الآلة المستخدمة في هذه اللعبة هي الحاسوب الرقمي، مبينًا الخصائص التي يمتلكها هذا الحاسوب. بعد ذلك، يناقش بالتفصيل 9 حجج معارضة لذكاء الآلة واحدة تلو الأخرى، وفي الختام يعرض أفكاره حول كيفية بناء آلات

قادرة على التعلم الذاتي.

13.2. لعبة المحاكاة (Imitation Game) واختبار تورينغ

لعبة يشارك فيها ثلاثة أشخاص

لشرح السؤال الجديد، اقترح تورينغ لعبة معينة يشارك فيها 3 أشخاص: رجل (A)، وامرأة (B)، ومحاور طارح للأسئلة (C) يوجد في غرفة منفصلة عنهما. لا يستطيع C رؤية وجهي المشاركين ولا سماع صوتيهما، وتتبادل الأسئلة والأجوبة حصرًا عبر نصوص مطبوعة بالآلة الكاتبة أو المبرقة الكاتبة (التليبرنتر). وبعد إجراء المحادثة، يتعين على C أن يخمن أيهما الرجل وأيهما المرأة.

يختلف دور كل من المشاركين؛ فالرجل A يحاول خداع C ليدفعه إلى إعطاء إجابة خاطئة. فإذا سُئل عن تسريحة شعره، يمكن لـ A أن يكذب ويدعي أنه امرأة. وعلى العكس من ذلك، تحاول المرأة B مساعدة C في الوصول إلى الإجابة الصحيحة. يمكن لـ B أن تقول الصدق: "أنا المرأة، لا تصدق ما يقوله ذلك الشخص"، ولكن نظرًا لأن A يستطيع أن يقول العبارة نفسها تمامًا، فإن C لا يستطيع الحكم بسهولة.

أدخل تورينغ تعديلًا على هذه اللعبة: ماذا يحدث إذا وضعت آلة مكان الرجل A؟ وكان السؤال المطروح هو: هل سيكون عدد المرات التي يخطئ فيها السائل C في الحكم عند

التحدث مع إنسان وآلة مماثلًا لعدد مرات خطئه عندما كان يحاور رجلًا وامرأة؟ قال تورينغ إن هذا هو السؤال الجديد الذي يحل محل "هل يمكن للآلات أن تفكر؟". وقد أطلق تورينغ نفسه على هذا الاختبار اسم 'لعبة المحاكاة'، وفيما بعد أطلق عليه الناس اسمه ليصبح معروفًا باسم 'اختبار تورينغ'.

السبب وراء حصر الحوار في الكتابة فقط

كان لدى تورينغ سبب وجيه لحجب الوجه والصوت؛ فقد أراد فصل جسد الآلة عن ذكائها. فصنع جلد اصطناعي يشبه جلد الإنسان تمامًا وإلباسه للآلة لن يجعلاها أكثر ذكاءً. ورأى تورينغ أنه لقياس القدرة على التفكير، يجب النظر إلى محتوى الكلمات فقط، لا إلى المظهر الخارجي أو نبرة الصوت.

يرتبط هذا الشرط أيضًا بمبدأ العدالة والإنصاف. فإذا خسر إنسان في سباق عدو ضد طائرة، فلن ينتقص أحد من قدر الإنسان. وبالمثل، إذا لم تفز الآلة بجائزة في مسابقة ملكات الجمال، فليس هناك مبرر للوم الآلة. لقد صُممت لعبة المحاكاة بحيث لا يتعرض أي من الإنسان أو الآلة لغبن بسبب المظهر الخارجي.

إن حجب المظهر الخارجي لا يجعل الاختبار متساهلًا أبدًا؛ فالمحادثة الكتابية تفتح الباب أمام مواضيع لا حصر لها للأسئلة. وقد ضرب تورينغ عدة أمثلة في ورقته البحثية: إذ يمكن للمحاور أن يطلب كتابة قصيدة شعرية عن جسر فورث في اسكتلندا، أو يطلب جمع عددين يتكون كل منهما من 5 أرقام، أو يطرح مسألة في الشطرنج.

في المثال الذي ضربه تورينغ، اعتذر الطرف المجيب عن كتابة الشعر، وفي مسألة الجمع تردد لنحو 30 ثانية قبل أن يعطي إجابته. ومع ذلك، لم تكن الإجابة صحيحة؛ ففي مسألة جمع 34,957 مع 70,764، أجاب بأن الناتج هو 105,621، في حين أن الإجابة الصحيحة هي 105,721. يفسر بعض الباحثين هذا على أنه مثال لخطأ متعمد ليبدو وكأنه صادر عن إنسان، بينما يرى آخرون أن تورينغ نفسه أخطأ في كتابة الرقم. وفي كلتا الحالتين، يوضح هذا المثال أن الإجابة الشبيهة بإجابة البشر لا تتطابق دائمًا مع الإجابة الدقيقة.

حاسوب واحد يحاكي جميع الآلات

كان الأمر التالي الواجب تحديده هو نوع الآلة التي ستشارك في هذه اللعبة، واختار تورينغ الحاسوب الرقمي. يتكون الحاسوب الرقمي من وحدة ذاكرة لتخزين المعلومات، ووحدة حسابية لإجراء العمليات، ووحدة تحكم لتنفيذ الأوامر تسلسليًا خطوة بخطوة. وهنا استرجع تورينغ الفكرة التي طرحها في ورقته البحثية عن الآلة الشاملة عام 1936: فحاسوب رقمي واحد يتسم بقدر كافٍ من السعة والسرعة قادر على محاكاة أي آلة أخرى تعمل خطوة بخطوة إذا تم تزويده بالبرنامج المناسب. وبناءً على ذلك، لم تعد هناك حاجة لبحث كل نوع من أنواع الآلات على حدة، وأصبح السؤال الجديد في النهاية: "هل يستطيع حاسوب مزود ببرنامج مناسب أن يؤدي لعبة المحاكاة بنجاح؟".

تنبؤ يستشرف المستقبل بعد 50 عامًا

بعد صياغة السؤال بهذه الدقة والتحديد، وضع تورينغ أيضًا تنبؤات رقمية بشأن الإجابة. وتوقع أنه بعد نحو 50 عامًا، وبحلول عام 2000 تقريبًا، ستتمكن حواسيب تمتلك سعة تخزينية تبلغ نحو مليار (10 أس 9) بت من أداء لعبة المحاكاة بكفاءة عالية. ويمثل مليار بت بوحدات اليوم نحو 125 ميغابايت. كما توقع أن احتمال قدرة السائل العادي على التمييز بدقة بين الإنسان والآلة بعد محادثة تستمر 5 دقائق لن يتجاوز 70 بالمئة. وكتب أيضًا أنه بحلول نهاية القرن 20، سيأتي وقت يستخدم فيه الناس تعبير 'الآلات المفكرة' دون أن يجادل أحد في ذلك.

تحرك التاريخ الفعلي بوتيرة أبطأ قليلًا من تنبؤات تورينغ. فالحواسيب بحلول عام 2000 تجاوزت توقعات تورينغ لسعة الذاكرة بمراحل، لكنها لم تفلح في إجراء محادثات طبيعية شبيهة بمحادثات البشر. وفي مسابقة جائزة لوبنر التي بدأت عام 1991، اعتبر بعض الحكام أن البرنامج إنسان. ومع ذلك، نظرًا لأن المسابقة الأولى قيدت مواضيع المحادثة، كان من الصعب اعتبار تلك النتيجة دليلًا على قدرة واسعة النطاق في إدارة الحوار. وفي عام 2014، أُعلن أن برنامجًا يُدعى 'يوجين غوستمان' تمكن من خداع نحو ثلث الحكام، لكنه واجه انتقادات لأنه اختلق شخصية صبي أوكراني يبلغ من العمر 13 عامًا لإخفاء إجاباته الركيكة.

تغير الوضع بصورة جذرية مع دخول عقد 2020. ففي عام 2025، أجرى كاميرون جونز وبنجامين بيرغن من جامعة كاليفورنيا في سان دييغو بالولايات المتحدة تجربة طُلب فيها من المشاركين التحاور بالتزامن مع إنسان واحد ونظام ذكاء اصطناعي واحد لمدة 5 دقائق لكل منهما، ثم تحديد أيهما هو الإنسان. واختير نموذج GPT-4.5، الذي وُجه

ليتصرف مثل إنسان، على أنه الإنسان في 73 بالمئة من الحالات، وهي نسبة تفوقت على معدل اختيار الإنسان الحقيقي. وفي التجربة نفسها، لم يتجاوز برنامج المحادثة 'إليزا' الذي يعود إلى ستينيات القرن 20 نسبة 23 بالمئة. ونُشرت هذه الدراسة لاحقًا في المجلة العلمية «سجل أعمال الأكاديمية الوطنية للعلوم (PNAS)».

أصبحت هذه النتائج دافعًا لإعادة النظر في أسلوب التقييم الذي اقترحه تورينغ. ومع ذلك، ينبغي التمييز بين أمرين عند قراءة هذه الأرقام: أولًا، نسبة 70 بالمئة التي ذكرها تورينغ تشير إلى نسبة نجاح السائل في التمييز الصحيح بين الإنسان والآلة، بينما تعني نسبة 73 بالمئة في هذه التجربة معدل اختيار GPT-4.5 على أنه إنسان، وبالتالي فإن ما يقيسه الرقمان مختلف تمامًا. بالإضافة إلى ذلك، يرى العديد من العلماء أن هذه النتيجة لا تعني بالضرورة دليلًا على أن الآلة تفكر كالإنسان. ولا يزال الجدل المحتدم حول سؤال تورينغ مستمرًا حتى يومنا هذا.

13.3. الرد على الاعتراضات الموجهة إلى الذكاء الاصطناعي (AI)

كان تورينغ يدرك تمامًا أن هناك أصواتًا كثيرة ستعارض أفكاره. ولذلك، في الجزء السادس من ورقته البحثية، اختار بنفسه 9 حجج معارضة محتملة الحدوث في المستقبل، وأجاب عنها واحدة تلو الأخرى. لقد حدد نقاط الضعف مسبقًا وأعد الردود عليها قبل أن يشن الخصوم هجومهم. وكانت الاعتراضات الـ 9 واسعة النطاق؛ فامتدت من معتقدات دينية ومخاوف نفسية، إلى مبرهنات رياضية، ومسائل الوعي، وقدرات

الآلات، وتركيب الدماغ، وصولًا إلى الإدراك الحسي الفائق.

أولًا، الاعتراض اللاهوتي. ويزعم هذا الاعتراض أن التفكير هو وظيفة الروح الخالدة التي منحها الله للإنسان فقط، وبما أن الله لم يمنح الروح للحيوانات أو الآلات، فإن الآلات لا يمكنها التفكير. ورد تورينغ بأن هذا الادعاء يحد في الواقع من قدرة الله المطلقة؛ فإذا كنا نؤمن بأن الله يمنح الروح للطفل عندما ينجبه الإنسان، فليس هناك ما يمنع الله من منح الروح لآلة يصنعها الإنسان. وأشار تورينغ إلى أنه في زمن غاليليو استُخدم المنطق الديني لمعارضة نظرية مركزية الشمس وثبت خطؤه في النهاية، مؤكدًا أنه لا يمكن الحكم على المسائل العلمية بمثل هذه الحجج.

ثانيًا، اعتراض 'دفن الرأس في الرمال'. وهو موقف يرى أن فكرة تفكير الآلات مروعة للغاية، ولذا من الأفضل أن نتمنى ونعتقد ألا يحدث ذلك أبدًا. وقد استُمِد هذا الاسم من حكاية النعامة التي تدفن رأسها في الرمال عند رؤية الخطر. واعتبر تورينغ هذا الموقف رغبة وتمنيًا أكثر من كونه اعتراضًا حقيقيًا؛ لأن ما نتمنى حدوثه يختلف تمامًا عما يمكن أن يحدث في الواقع. وتجاوز تورينغ هذا الاعتراض بروح خفيفة، معتبرًا أن مثل هذه المزاعم تستحق المواساة والتهدئة أكثر من التفنيد المنطقي.

ثالثًا، الاعتراض الرياضي. على عكس الاعتراضين السابقين، يستند هذا الاعتراض إلى مبرهنات رياضية أُثبتت بدقة بالغة. ففي عام 1931، أثبت كورت غودل أنه في أي نظام رياضي متسق وغير متناقض يحتوي على الحساب الأساسي للأعداد الطبيعية ويمكن ترتيب بديهياته وفق إجراء محدد، ستوجد حتمًا عبارات لا يمكن إثباتها ولا نفيها

باستخدام قواعد النظام نفسه فقط. كما أثبت تورينغ نفسه في ورقته البحثية عام 1936 أن هناك مسائل لا يمكن لأي آلة حلها. واستند المعارضون إلى هذه النتائج ليجادلوا بأن للآلات حدودًا لا يمكن تجاوزها، مما يجعلها أدنى مرتبة من الإنسان.

أقر تورينغ بأن لكل آلة حدودًا بالفعل. ومع ذلك، لكي يصح هذا الاعتراض، يجب أن يكون الذكاء البشري خاليًا من تلك الحدود، ولم يثبت أحد ذلك على الإطلاق. فالإنسان أيضًا يقع في الخطأ كثيرًا ويقدم إجابات خاطئة. وعلاوة على ذلك، حتى لو تمكن إنسان معين من التفوق على آلة واحدة، فإنه لا يستطيع التفوق على جميع الآلات دفعة واحدة. ورغم أن المبرهنة التي أثبتها بنفسه استُخدمت ضده للهجوم على أطروحته، فإن تورينغ رد بتحديد النطاق الدقيق لما تنص عليه تلك المبرهنة.

رابعًا، الاعتراض القائم على الوعي. ويندرج تحت هذا ما طرحه البروفيسور جيفرسون، الذي أثارت محاضرته عام 1949 هذا الجدل في الصحف. فقد أكد البروفيسور جيفرسون أننا لا يمكننا الإقرار بأن الآلة تماثل الدماغ حتى تختبر الآلة أفكارًا ومشاعر حقيقية تدفعها لكتابة الشعر أو تأليف الموسيقى نتيجة لتلك المشاعر؛ أي أن على الآلة أن تدرك ما تفعله، وأن تشعر بالفرح والحزن.

أجاب تورينغ بأن التمادي في هذا المنطق حتى نهايته يقود إلى نتيجة غريبة؛ فالطريقة الوحيدة للتأكد مما إذا كان شخص آخر يفكر ويشعر حقًا هي أن يصبح المرء ذلك الشخص نفسه. وإذا أخذنا بذلك، فلن يستطيع المرء أن يصدق أن أحدًا غيره يفكر إطلاقًا. ولذلك يعيش الناس وفق اتفاق مهذب يقضي بقبول أن الآخر يفكر بناءً على

أقواله وأفعاله وسلوكه. ورأى تورينغ أن من الإنصاف تطبيق المعيار نفسه على الآلة؛ وأضاف أنه إذا تمكنت الآلة من تقديم إجابات منطقية ومترابطة على أسئلة دقيقة حول قصيدة كتبتها، فلن يتمكن حتى البروفيسور جيفرسون من الاستهانة بها بسهولة.

خامسًا، اعتراض 'العجز عن أشياء متعددة'. فقد سرد الناس قوائم بأمور زعموا أن الآلات لن تتمكن أبدًا من القيام بها: كأن تكون لطيفة، أو تتمتع بحس الفكاهة، أو تميز بين الصواب والخطأ، أو ترتكب الأخطاء، أو تقع في الحب، أو تستمتع بتناول الفراولة بالقشطة، أو تتعلم من التجربة، أو تنجز شيئًا جديدًا تمامًا. ورأى تورينغ أن معظم هذه الادعاءات تفتقر إلى أي أساس، إذ إن الناس يستحضرون الآلات البدائية والخرقاء التي رأوها حتى الآن، ويفترضون ببساطة أن آلات المستقبل ستكون مثلها.

اختار تورينغ بعض النقاط من هذه القائمة وأجاب عنها بالتفصيل. وبشأن ارتكاب الأخطاء، ميز بين نوعين: أخطاء تنشأ عن تعطل المكونات المادية، وأخطاء تنتج عن استخلاص استنتاجات خاطئة أثناء الاستدلال من المعلومات المعطاة. وأوضح أن الآلة قادرة تمامًا على ارتكاب النوع الثاني من الأخطاء؛ بل يمكن أيضًا تزويدها ببرنامج يتعمد الخطأ في الحسابات لتبدو وكأنها ترتكب أخطاء شبيهة بالبشر في لعبة المحاكاة. أما بخصوص الاستمتاع بالفراولة والقشطة، فأجاب بأنه ربما يمكن جعل الآلة تستمتع بهذا الطعم، لكن تكريس الجهد لمثل هذا الأمر يُعد ضربًا من الحماقة.

سادسًا، اعتراض السيدة لوفليس. نشرت عالمة الرياضيات البريطانية آدا لوفليس نصًا عام 1843 حول المحرك التحليلي الذي صممه تشارلز بابيج، وكتبت فيه أن الآلة ليس

لديها أي ادعاء لابتكار شيء جديد من تلقاء نفسها، ولا يمكنها سوى تنفيذ ما نأمرها بفعله. واستشهد المعارضون بهذه الكلمات ليجادلوا بأن الآلات تفتقر إلى الأصالة ولا يمكنها أبدًا أن تفاجئ الإنسان.

ذكر تورينغ أنه من المفهوم أن تتوصل لوفليس إلى ذلك الحكم بالنظر إلى آلات العصر الذي عاشت فيه، لكنه عارض تعميم ذلك الحكم على جميع الآلات. فالأصالة البشرية ذاتها قد تكون وليدة ما تعلمه الإنسان وخبره من تجارب. وشارك تورينغ تجربته الشخصية، مؤكدًا أن الآلات كثيرًا ما كانت تفاجئه؛ فعند كتابة برنامج ما، لا يستطيع الإنسان حساب جميع نتائجه مسبقًا في ذهنه، ولذلك فإن النتائج التي يقدمها الحاسوب غالبًا ما تأتي جديدة ومدهشة حتى لمن صنعه.

سابعًا، الاعتراض القائم على استمرارية الجهاز العصبي. إن الجهاز العصبي للإنسان هو نظام متصل ومستمر يمكن لأدق التغيرات في إشاراته الكهربائية أن تغير النتائج. في المقابل، يعمل الحاسوب الرقمي بحالات منفصلة ومحددة تمامًا مثل الصفر والواحد (0 و1)؛ ولذلك يزعم هذا الاعتراض أن الحاسوب لا يمكنه محاكاة الجهاز العصبي. اعترف تورينغ بالاختلاف بين النظامين، لكنه أوضح أن هذا الاختلاف لن يظهر أثره في لعبة المحاكاة. وضرب مثلًا بالمحلل التفاضلي، وهو حاسوب تناظري كان يُستخدم في ذلك الوقت؛ إذ يستطيع الحاسوب الرقمي محاكاة إجابات تلك الآلة بدقة كافية تجعل من الصعب على السائل التمييز بينهما.

ثامنًا، اعتراض عدم رسمية السلوك (غياب القواعد الصارمة للسلوك). لا يمكن وضع قائمة

شاملة تحصي جميع القواعد التي يجب على الإنسان اتباعها في كل الظروف؛ فلو كان الإنسان يتصرف وفق قواعد ثابتة فقط لما اختلف عن الآلة، لكن واقع الإنسان ليس كذلك. وبناءً على هذا، يزعم الاعتراض أن الآلة التي تتحرك وفق القواعد لا يمكن أبدًا أن تكون مثل الإنسان. وضرب تورينغ مثلًا بإشارة المرور: فحتى لو وُجدت قاعدة تقول "توقف عند الضوء الأحمر"، فإذا حدث وأُضيء الضوءان الأحمر والأخضر في الوقت نفسه، فإن الإنسان يتصرف ويصدر حكمه دون وجود قاعدة مسبقة تحكم ذلك.

ميز تورينغ هنا بين أمرين: الأول هو قواعد السلوك الحياتية التي يقرر الإنسان اتباعها بمحض إرادته، والآخر هو قوانين الطبيعة التي تحكم حركة جسد الإنسان ودماغه. وما يوضحه مثال إشارة المرور هو أن قواعد السلوك لا يمكن أن تغطي جميع الحالات الممكنة، لكن هذا لا يعني أبدًا عدم وجود قوانين طبيعية تحكم عمل الدماغ، بل كل ما في الأمر أننا لم نكتشف تلك القوانين بالكامل بعد.

تاسعًا، الاعتراض القائم على الإدراك الحسي الفائق (ESP). يزعم هذا الاعتراض أنه إذا كان البشر يمتلكون قدرات مثل التخاطر أو الاستبصار، فإن السائل سيكون قادرًا على قراءة الأفكار والتمييز بسهولة بين الإنسان والآلة. ولم يتعامل تورينغ مع هذا الاعتراض باستهانة، بل كتب، بالنظر إلى نتائج التجارب التي أجراها الأمريكي جوزيف راين وآخرون آنذاك، أن الأدلة الإحصائية على التخاطر قوية جدًا. ولذلك اقترح حلًا يقضي بإجراء اللعبة في غرفة معزولة لا يمكن للتخاطر اختراقها. واليوم، لم يجد المجتمع العلمي أي دليل موثوق يثبت وجود الإدراك الحسي الفائق، مما يظهر أن حتى عبقريًا مثل تورينغ لم يكن بمنأى عن المناخ العلمي السائد في عصره.

اقتصر الرد على الاعتراضات الـ 9 على دحض الادعاء القائل بأن الآلات لا يمكنها التفكير. أما كيفية بناء آلة مفكرة في الواقع فكانت مسألة منفصلة، وقد خطا تورينغ خطوة أخرى إلى الأمام في هذا الشأن في الجزء الأخير من ورقته البحثية. فرأى أن برمجة دماغ شخص بالغ بالكامل منذ البداية أمر بالغ الصعوبة؛ وبدلًا من ذلك، اقترح بناء 'آلة طفل' تمتلك القليل من المعرفة في البداية وتُنمي قدراتها عبر التعليم، وتُدرَّب من خلال الثواب والعقاب. وتقوم الفكرة على أنه مثلما ينمو الطفل من خلال التفاعل مع معلمه، يمكن للآلة أيضًا أن تصبح أكثر ذكاءً عبر تلقي التعليم. ويتطور الذكاء الاصطناعي اليوم بأسلوب التعلم الذاتي بالاعتماد على كميات ضخمة من البيانات؛ وتجسد فكرة 'الآلة الطفل' لتورينغ رؤية تقوم على تصميم عملية التعلم ذاتها بدلًا من تلقين المعرفة المكتملة دفعة واحدة. ومع أن طرائق التعلم المحددة تختلف عن الذكاء الاصطناعي المعاصر، فإن التساؤل حول تنمية قدرات الآلة عبر التعلم لا يزال حيًا ومستمرًا.

واختتم تورينغ ورقته البحثية بعبارة تحمل هذا المعنى: إننا لا نستطيع أن نرى من المستقبل إلا القليل، ومع ذلك يمكننا أن نرى بوضوح أن هناك الكثير مما يتعين علينا القيام به في هذا المدى القريب.

الفصل 14. علم التشكل الحيوي: حل أنماط الحياة بالرياضيات (1951–1952)



الشكل 14. تعبير عن الأبحاث التي تبحث عن القواعد الرياضية في أشكال الكائنات الحية.

في خريف عام 1950، نشر آلان تورينغ ورقة بحثية بعنوان "آلات الحوسبة والذكاء" في المجلة الفلسفية "مايند". وكانت هذه الورقة سببا في انتشار السؤال "هل يمكن للآلات أن تفكر؟" على نطاق واسع في العالم. كان تورينغ حينها في الثامنة والثلاثين من عمره. فخلال الحرب، فك شفرات الجيش الألماني، وبعد انتهاء الحرب، صمم حواسيب وكتب برامج، وكان قد طرح حينها موضوعا بحثيا جديدا يتمثل في ذكاء الآلات.

ومع ذلك، كان اهتمام تورينغ في ذلك الوقت يتجه نحو موضوع مختلف تماما: البقع على جلد الفهد، والخطوط على جسم حمار الوحش، واللوالب التي ترسمها بذور دوار الشمس. فالكائنات الحية تصنع هذه الأنماط والأشكال دون تلقي توجيهات من أحد. وأراد تورينغ أن يعرف كيف تكون هذه العملية ممكنة، وقرر محاولة حل هذه المسألة باستخدام الرياضيات والحواسيب. وهكذا بدأ عالم الرياضيات، الذي كان يتعامل مع الشفرات والحواسيب، بدراسة مسألة في مجال علم الأحياء غير المألوف بالنسبة له.

14.1. الانتخاب لعضوية الجمعية الملكية

في العام الذي بدأ فيه أبحاثه في علم الأحياء، انتُخب تورينغ زميلا في الجمعية الملكية البريطانية. والجمعية الملكية هي منظمة علمية تأسست في لندن عام 1660. وهي واحدة من أقدم المنظمات العلمية في العالم، وقد شغل إسحاق نيوتن أيضا منصب رئيسها. ولكي يصبح المرء عضوا فيها، يجب أن يحصل على توصية من الأعضاء الحاليين، وتقوم الجمعية بفحص أبحاث المرشح بدقة قبل انتخابه. ويضع الشخص المنتخب الحروف FRS بعد اسمه، وهي إشارة تدل على أنه زميل الجمعية الملكية

(Fellow of the Royal Society)، وتُعد شرفا عظيما للعلماء البريطانيين.

كان اليوم الذي انتُخب فيه تورينغ عضوا هو 15 مارس 1951، وكان عمره آنذاك ثمانية وثلاثين عاما. وكان السبب الرئيسي المذكور في خطاب التوصية هو ورقته البحثية المنشورة عام 1936 بعنوان "عن الأعداد القابلة للحساب مع تطبيق على مسألة اتخاذ القرار". ابتكر تورينغ في هذه الورقة آلة حاسبة خيالية، وهي آلة تورينغ، وأوضح رياضيا ما يمكن حسابه وما لا يمكن حسابه. وأصبح هذا البحث أساسا للمنطق الرياضي وعلم الحاسوب اليوم.

وكانت هناك إنجازات لم ترد في خطاب التوصية، مثل فك شفرة إنيغما في بليتشلي بارك أثناء الحرب العالمية الثانية. ولم يكن بإمكان أي شخص التحدث عن هذا الأمر علنا لأنه كان خاضعا لقانون الأسرار الرسمية للدولة. وهكذا ظل أعظم عمل قام به تورينغ لبلاده أثناء الحرب طي الكتمان. ومع ذلك، فإن حقيقة كونه أصبح عضوا في الجمعية الملكية تعني الاعتراف بتورينغ كأحد العلماء الذين يمثلون المجتمع العلمي البريطاني. ومن هذا المنطلق بدأ تورينغ بحثا جديدا.

لم يكن موضوع شكل الكائنات الحية، الذي كان محور ذلك البحث، أمرا اهتم به تورينغ فجأة. فعندما كان في العاشرة من عمره تقريبا، تلقى تورينغ كتابا كهدية بعنوان "عجائب الطبيعة التي يجب أن يعرفها كل طفل". ولم يشرح هذا الكتاب أجسام الكائنات الحية بقوى غامضة، بل شرحها كأنها آلة. اعتز تورينغ الصغير بهذا الكتاب وقرأه مرات عديدة. ومن بين الرسومات التي تركتها والدته سارة تورينغ، رسم يصور ابنها وهو ينظر بمفرده

إلى زهرة أقحوان نابتة في الأرض بينما يلعب أصدقاؤه مباراة هوكي. وأثناء دراسته في مدرسة شيربورن، كان تورينغ يستمتع بالتجارب الكيميائية، ويراقب باهتمام ترتيب بتلات الأزهار والأوراق.

وبعد أن بلغ سن الرشد، قرأ كتاب "عن النمو والشكل" الذي كتبه عالم الأحياء الاسكتلندي دارسي طومسون عام 1917. وكان طومسون عالما حاول تفسير أشكال الكائنات الحية باستخدام الرياضيات والفيزياء. وأراد تورينغ أن يخطو خطوة أبعد من محاولة طومسون.

بدأت المسألة التي أراد تورينغ حلها من الجنين. والجنين هو مرحلة مبكرة جدا تبدأ فيها كتلة من الخلايا، ستصبح جسم حيوان، بالنمو. وتكون هذه الكتلة مستديرة تقريبا، وتكاد الخلايا بداخلها تكون متماثلة. ولكن مع مرور الوقت، يصبح أحد الجانبين رأسا والجانب الآخر ذيلا. وتتشكل العيون وتنمو الأرجل. وكان سؤال تورينغ هو: كيف تنشأ أجزاء مختلفة من جسم كان متماثلا في كل جزء منه في البداية، وكيف تنمو كتلة تشبه الكرة المستديرة لتصبح جسما له مقدمة وخلفية، وأعلى وأسفل مختلفان، مثل الحصان أو الإنسان؟

كانت هناك أسئلة كثيرة لم تُحل بعد حول عملية تشكل أشكال الكائنات الحية. وحاول تورينغ تفسير بعض منها بالرياضيات. ورأى أنه يمكن تفسير أشكال الكائنات الحية بمجرد قوانين تفاعل المواد الكيميائية وانتشارها. وقرر تورينغ أن يثبت صحة هذه الفكرة رياضيا.

14.2. اكتشاف معادلات التفاعل والانتشار

في نوفمبر 1951، قدم تورينغ ورقة بحثية إلى الجمعية الملكية بعنوان "الأساس الكيميائي للتشكل الحيوي". والتشكل الحيوي هو العملية التي يتخذ بها الكائن الحي شكل جسمه أثناء نموه. ونُشرت هذه الورقة في 14 أغسطس 1952 في المجلة البيولوجية للجمعية الملكية "المعاملات الفلسفية ب" (Philosophical Transactions B)، المجلد 237، من الصفحة 37 إلى 72. وبلغ إجمالي حجمها 36 صفحة.

في هذه الورقة، استخدم تورينغ مصطلح "مورفوجين" لأول مرة، ويعني باليونانية "صانع الشكل". واعتقد تورينغ أن مادة كيميائية معينة تنتشر وتتحرك بين الخلايا والأنسجة في الجسم تخبر الخلايا بما ستصبح عليه. فالخلايا في الأماكن التي تكثر فيها تلك المادة والخلايا في الأماكن التي تقل فيها تسلك مسارات مختلفة. ومع ذلك، نظرا لأنه لم يكن بالإمكان العثور على مثل هذه المادة فعليا في ذلك الوقت، فقد كان المورفوجين مادة افترضها تورينغ.

ولتفسير كيفية تشكيل المورفوجين للأنماط، ركز تورينغ على عمليتين: إحداهما هي "التفاعل" والأخرى هي "الانتشار". والتفاعل هو التقاء المواد الكيميائية ببعضها لإنتاج مواد جديدة أو القضاء على بعضها البعض. والانتشار هو انتقال المادة من الأماكن التي تكثر فيها إلى الأماكن التي تقل فيها. فإذا أسقطت قطرة حبر في كوب ماء، ينتشر الحبر

ببطء ويتلون الكوب بأكمله بالتساوي. هذا هو الانتشار.

وكما يتضح من مثال الحبر، كان الناس يعتقدون عادة أن الانتشار يخلط كل شيء بالتساوي، لأن انتشار الحبر يزيل الأنماط ولا يترك سوى لون واحد. ولكن تورينغ أثبت رياضيا إمكانية حدوث نتيجة معاكسة تماما؛ فإذا تفاعلت مادتان كيميائيتان مع بعضهما البعض وانتشرتا بسرعتين مختلفتين، فإن الحالة المتجانسة في البداية تنكسر بدلا من ذلك وتتشكل الأنماط.

في نموذج المادتين الذي يُستخدم غالبا اليوم لشرح هذه الفكرة، يُقسم دور المادتين على النحو التالي: إحداهما مادة منشطة والأخرى مادة مثبطة. تنتج المادة المنشطة المزيد من نفسها، وتنتج في الوقت نفسه المادة المثبطة أيضا. وتكبح المادة المثبطة زيادة المادة المنشطة. وهنا يُشترط شرط مهم: يجب أن تنتشر المادة المثبطة أسرع بكثير من المادة المنشطة.

ويسهل فهم سبب تشكيل هذا الشرط للأنماط من خلال مقارنته بحريق غابة. لنفترض أن شرارات صغيرة ظهرت في أماكن متفرقة من غابة جافة. تنتشر الشرارات إلى الأشجار القريبة وتكبر. وهذا يعادل المادة المنشطة. وعند اندلاع الحريق، يتحرك رجال الإطفاء؛ ويتحرك رجال الإطفاء أسرع بكثير من النار ليرشوا الماء مسبقا على الأشجار المحيطة بمكان الحريق. وهذا يعادل المادة المثبطة. وعندئذ تحترق النار فقط في المكان الذي اشتعلت فيه في البداية، وتظل المنطقة المحيطة بها مبللة. وإذا نظرت إلى الغابة من السماء، فسترى نمطا تنتشر فيه الأماكن المحترقة وغير المحترقة كنقاط. وفي النموذج

الرياضي الفعلي، تظهر أشكال مختلفة، مثل البقع أو الخطوط، اعتمادا على شروط تفاعل المواد وانتشارها.

وشرح تورينغ أيضا من أين تبدأ هذه العملية. في البداية، تكون المادتان مختلطتين بالتساوي في كل مكان. ولكن لا توجد حالة متجانسة تماما في الواقع، إذ تنشأ اختلافات طفيفة جدا في أماكن دقيقة للغاية. وعادة ما تختفي هذه الاختلافات سريعا، ولكن في ظل الشروط التي وجدها تورينغ، فإن هذه الاختلافات الصغيرة تكبر تدريجيا. فالمكان الذي يحتوي على كمية أكبر قليلا من المادة المنشطة يزداد أكثر، وتصبح المنطقة المحيطة به أقل بسبب المادة المثبطة. ويطلق العلماء على انكسار هذه الحالة المتجانسة اسم "كسر التناظر". وتُعرف هذه الظاهرة التي ينهار فيها التوازن الأولي اليوم باسم "عدم استقرار تورينغ".

أظهر تورينغ من خلال حل معادلات معقدة أن هذه العملية تنتج أنماطا مثل البقع والخطوط والتموجات. وتسمى هذه الأنماط اليوم "أنماط تورينغ". ويكمن جوهر نظرية تورينغ في أن الأنماط تنشأ تلقائيا أثناء تفاعل المواد وانتشارها، دون الحاجة إلى أن يرسمها أحد من الخارج.

وتضمنت هذه النظرية أيضا وجهة نظر حول دور الجينات. ويتضح هذا الأمر بصورة أكبر عند النظر إلى وقت نشر الورقة. فقد كشف جيمس واتسون وفرانسيس كريك عن بنية الحلزون المزدوج للحمض النووي DNA عام 1953. وعندما كان تورينغ يكتب ورقته، لم يكن أحد يعرف كيف تبدو الجينات. ومع ذلك، خمن تورينغ ما تفعله الجينات. فرأى أن

الجينات ليست مخططا تفصيليا يرسم كل جزء من شكل الجسم على حدة. بل إن الجينات تحدد فقط شروطا مثل مدى سرعة تفاعل المواد الكيميائية ومدى سرعة انتشارها. وكانت فكرة تورينغ هي أن الشكل الفعلي ينشأ تلقائيا بموجب قوانين التفاعل والانتشار في ظل تلك الشروط.

كما أوضح تورينغ حدود هذه النظرية في ورقته البحثية. ففي بداية الورقة، كتب أن نموذجه يمثل تبسيطا ونمذجة مثالية للكائنات الحية الحقيقية، وبالتالي قد تكون هناك أجزاء تختلف عن الواقع. وحتى مع تقديمه لنظرية جديدة، لم يدّعِ أنها تفسر كل شيء.

14.3. ريادة علم الأحياء الحسابي

كان من الصعب حل معادلات تورينغ يدويا. وعلى الرغم من إمكانية حل بعض الحالات البسيطة باستخدام الورقة والقلم الرصاص، إلا أن رؤية كيفية تشكل الأنماط فعليا تطلبت الكثير من الحسابات. وكان لدى تورينغ آلة يوكل إليها تلك الحسابات، وهي فيرانتي مارك 1 في جامعة مانشستر.

تم تركيب حاسوب فيرانتي مارك 1 في جامعة مانشستر في فبراير 1951. وكان أول حاسوب إلكتروني للأغراض العامة (يمكن استخدامه في أنواع مختلفة من الحسابات) في العالم تصنعه شركة وتبيعه تجاريا. وكتب تورينغ دليل البرمجة لهذا الحاسوب بنفسه. ولأنه كان يعرف هذه الآلة أفضل من أي شخص آخر، فقد كتب برنامجا لحساب معادلاته واستخدمه في أبحاث التشكل الحيوي.

ومع ذلك، فإن رسم النمط المتبقع الذي نُشر في ورقة عام 1952 تم الحصول عليه من خلال الحساب اليدوي وليس بالحاسوب. وذكر تورينغ في الورقة أنه حصل على هذا الرسم بحساب يدوي استغرق عدة ساعات. ففي ذلك الوقت، لم تكن الحواسيب تحتوي على أجهزة لعرض الصور على الشاشات كما هو الحال اليوم، وكانت نتائج الحسابات تظهر بالأرقام فقط. وتوقع تورينغ إمكانية استخدام الحواسيب الرقمية عند التعامل مع عمليات تحول الأشكال الأكثر تعقيدا.

كان التعامل مع الظواهر الحيوية باستخدام الحواسيب أمرا جديدا في تاريخ العلم. فحتى ذلك الحين، كانت الحواسيب تُستخدم بشكل رئيسي للتعامل مع الأرقام، مثل مسارات المقذوفات المدفعية أو الشفرات. وحاول تورينغ محاكاة عملية تكوين الكائنات الحية للأنماط باستخدام الحاسوب. وبدلا من تربية الحيوانات في المختبر، تتبع عمليات التفاعل والانتشار داخل الحاسوب. وتُسمى هذه الأبحاث اليوم علم الأحياء الحسابي، ويُعد تورينغ من أوائل من فتحوا هذا المجال.

بعد نشر ورقته عام 1952، وسع تورينغ نطاق أبحاثه لتشمل النباتات. وكانت المسألة التي انشغل بها هذه المرة هي "ترتيب الأوراق". وترتيب الأوراق يعني تسلسل وترتيب توضع الأوراق على الساق. وإذا نظرت إلى منتصف زهرة دوار الشمس، فسترى البذور مغروسة بكثافة وتشكل حلزونات. ويمكنك أن ترى معا حلزونات تدور في اتجاه عقارب الساعة وحلزونات تدور عكس اتجاه عقارب الساعة. وإذا قمت بعدّ هذه الحلزونات، فستجد أنها تشكل أزواجا منتظمة مثل 34 و55، أو 55 و89. وفي مخاريط الصنوبر، كثيرا ما تظهر أزواج مثل 8 و13.

وجميع هذه الأرقام موجودة في متتالية فيبوناتشي. ومتتالية فيبوناتشي هي متتالية يُحسب فيها كل عدد بجمع العددين السابقين له، مثل: 1، 1، 2، 3، 5، 8، 13، 21، 34، 55، 89. وفي كثير من الحالات، تتشكل الأوراق الجديدة أو البذور في موضع يدور بنحو 137.5 درجة عن الموضع السابق مباشرة. وتسمى هذه الزاوية الزاوية الذهبية. وعندما تترتب بهذه الطريقة، تأخذ الأوراق والبذور مواقعها دون أن تتداخل وبلا فراغات. وكان الناس يعرفون هذه القاعدة منذ زمن طويل، لكنهم لم يتمكنوا من تفسير سبب اتباع النباتات لها.

درس تورينغ هذه المسألة مع عالم النبات كلود واردلو من جامعة مانشستر. واعتقد تورينغ أن تفاعل وانتشار المورفوجينات يحدث أيضا في الأماكن التي تظهر فيها أوراق جديدة عند طرف ساق النبات. وإذا ظهرت ورقة في مكان ما، يصعب ظهور ورقة جديدة في محيطها، وتتكون الورقة التالية على بعد مسافة قصيرة. وحاول تورينغ تتبع العملية التي تتراكم بها هذه الأحداث لتظهر حلزونات أعداد فيبوناتشي رياضيا.

وشارك في هذا البحث باحثون شباب أيضا. فقد طبق طالب الدراسات العليا برنارد ريتشاردز معادلات تورينغ على أسطح كروية الشكل. وقارن نتائج الحسابات بأشكال القشور المستديرة لكائنات بحرية دقيقة جدا تسمى الشعاعيات. وكان تورينغ ينظم هذه الأبحاث في مسودة مكونة من ثلاثة أجزاء بعنوان "نظرية المورفوجين في ترتيب الأوراق". ومع ذلك، لم تكتمل المسودة بسبب وفاة تورينغ المفاجئة في يونيو 1954. وظلت هذه المخطوطات طي النسيان لفترة طويلة حتى نُشرت عام 1992 في مجلد التشكل الحيوي ضمن أعمال تورينغ الكاملة التي جمعها بيتر سوندرز.

أُعيد تناول مسألة ترتيب الأوراق التي لم يكملها تورينغ لاحقا في مانشستر. ففي عام 2012، وبمناسبة الذكرى المئوية لميلاد تورينغ، أقيمت فعالية للعلوم التشاركية بعنوان "دوار شمس تورينغ". والعلم التشاركي هو بحث يشارك فيه المواطنون العاديون، وليس العلماء المتخصصون فقط، بشكل مباشر في جمع البيانات. وخلال هذه الفعالية، جُمعت بيانات عن 657 زهرة دوار شمس زرعها المواطنون. وعلى الرغم من وجود حالات كثيرة كان فيها عدد الحلزونات عددا من أعداد فيبوناتشي، فقد تم التأكد أيضا من وجود ترتيبات لا تتبع تلك القاعدة. وكانت هذه المناسبة فرصة تحقق فيها العديد من الناس معا من السؤال الذي لم يكمله تورينغ.

لم تحظ نظرية عام 1952 حول الأنماط باهتمام كبير أثناء حياة تورينغ. فبعد الكشف عن بنية الحمض النووي عام 1953، تحول اهتمام علماء الأحياء نحو أبحاث الجينات والجزيئات. واعتُبرت نظرية تورينغ التي حاولت تفسير أنماط الحياة بالمعادلات فكرة معقولة رياضيا ولكنها غير مؤكدة في الكائنات الحية الحقيقية.

تغير الوضع بعد مرور عدة عقود. ففي عام 1990، تمكن فريق البحث التابع لـ باتريك دي كيبر في فرنسا من إنتاج النمط النقطي الذي تنبأ به تورينغ فعليا في محلول كيميائي داخل المختبر. وفي عام 1995، نشر عالما الأحياء اليابانيان شيغيرو كوندو وريهاكو أساي بحثا في مجلة "نيتشر" عن سمكة الملاك المخططة. فمع نمو جسم هذه السمكة، تنقسم خطوطها وتتشكل خطوط جديدة، وكان ذلك التغير متطابقا مع نتائج الحسابات باستخدام معادلات تورينغ. وفي عام 2014، ظهرت دراسة تفيد بأن المبدأ الذي ذكره تورينغ ينطبق أيضا على عملية انقسام أصابع أقدام الفئران إلى خمسة أصابع.

وتستمر الأبحاث التي تختبر نظرية تورينغ وتكملها حتى في الآونة الأخيرة. ففي مارس 2023، أعلن فريق بحثي بقيادة البروفيسور فلافيو فينتون من معهد جورجيا للتقنية في الولايات المتحدة عن نتائج تجربة بذور الشيا في مؤتمر الجمعية الفيزيائية الأمريكية. وقام الفريق البحثي بنثر بذور الشيا بالتساوي على صينية وزراعتها مع تغيير كمية الماء ونوع التربة. وبناء على ذلك، نمت البراعم في مجموعات على شكل بقع أو أنماط تشبه المتاهة. وكانت هذه الأنماط تشبه نتائج الحسابات الحاسوبية الناتجة عن معادلات التفاعل والانتشار. وذكر الفريق البحثي أن هذه هي المرة الأولى التي يتم فيها التحقق من هذا النموذج مباشرة باستخدام نباتات حية.

وفي نوفمبر من العام نفسه، نشر فريق بحثي بقيادة البروفيسور أنكور غوبتا من جامعة كولورادو بولدر في الولايات المتحدة دراسة في مجلة "ساينس أدفانسز" حول أنماط سمكة الصندوق. وكان من الصعب تفسير النمط السداسي الواضح على جلد سمكة الصندوق باستخدام معادلات تورينغ وحدها. فأضاف الفريق البحثي إلى الحسابات ظاهرة انجذاب الخلايا المنتجة للون مع انتشار المواد الكيميائية. وبذلك ظهر نمط واضح يشبه السمكة الحقيقية. وقد اعتمد هذا البحث على نظرية تورينغ وأضاف إليها تفسيرا جديدا.

تُعد ورقة تورينغ البحثية لعام 1952 اليوم نقطة انطلاق لعلم الأحياء الرياضي (العلم الذي يفسر الظواهر الحيوية باستخدام الرياضيات) وعلم الأحياء الحسابي. فمن بقع الفهد، وخطوط الأسماك، وعملية تكوّن الأصابع، وحتى أشكال نمو النباتات الصحراوية في مجموعات، يدرس العلماء أنماط الحياة بالاستناد إلى أفكار تورينغ. وتواصل الأبحاث

التي تحاكي الظواهر الحيوية بالحواسيب اتباع النهج الذي بدأه تورينغ.

لم يترك تورينغ أسرار الحياة سحرا غامضا. بل كان يؤمن بأن الأنماط الجميلة للكائنات الحية تتبع أيضا قوانين الطبيعة، وأن تلك القوانين يمكن التعبير عنها بالرياضيات. واختبر هذا الإيمان بنفسه مباشرة باستخدام الرياضيات والحواسيب. فمن الشفرات والحواسيب وذكاء الآلات وصولا إلى أشكال الحياة، تناول تورينغ مسائل من مجالات كانت تبدو متباعدة تماما عن بعضها البعض بالأسلوب ذاته.

الفصل 15. المحاكمة وتمييز الدولة (1952–1954)



الشكل 15. يصور وضع آلان تورينغ حين اضطر للمثول أمام المحكمة.

مقدمة

في أوائل عام 1952، كان آلان تورينغ في التاسعة والثلاثين من عمره. وكان يشغل منصب نائب مدير مختبر الحوسبة في جامعة مانشستر، وفي العام السابق، 1951، انتُخب زميلًا في الجمعية الملكية (FRS)، وهو شرف رفيع للعلماء البريطانيين. في ذلك الوقت، كان البحث الذي انغمس فيه آلان تورينغ يدور حول فك شفرة أنماط الحياة رياضيًا، مثل خطوط الحمار الوحشي أو ترتيب ظهور أوراق النباتات. وفي الليل، كان يجلس أمام حاسوب فيرانتي مارك 1 (Ferranti Mark 1) في الجامعة لإجراء حسابات طويلة.

في المقابل، لم يكن يعلم بما فعله أثناء الحرب سوى قلة نادرة من الناس. قاد آلان تورينغ الجهود في بلتشلي بارك لفك شفرة إنيغما (Enigma) التابعة للجيش الألماني. وكان لآلة فك الشفرات بومب (Bombe) التي صممها، والأسلوب الإحصائي المعروف باسم بانبوريسموس (Banburismus)، أثر بالغ في حماية سفن الحلفاء التي تعبر المحيط الأطلسي من الغواصات الألمانية. ويرى المؤرخون أن فك هذه الشفرات أسهم في تقصير أمد الحرب وإنقاذ أرواح كثيرة. غير أن هذا يظل تقديرًا؛ حتى إن الرقم الذي طرحه جاك كوبلاند، وهو 14 مليون شخص، هو حساب قائم على افتراض استمرار الحرب لفترة أطول.

كانت كل هذه الأمور أسرارًا للدولة. وفي يونيو 1946، نُشر في الجريدة الرسمية للحكومة البريطانية خبر منح آلان تورينغ رتبة ضابط في وسام الإمبراطورية

البريطانية (OBE). ومع ذلك، لم يكن بإمكان آلان تورينغ أن يفصح حتى لأسرته عن سبب نيله الوسام؛ لأن قانون الأسرار الرسمية فرض عليه الصمت التام. ولهذا، لم يكن في أعين الناس سوى عالم رياضيات جامعي غريب الأطوار قليلًا.

في عام 1952، غيّرت حادثة سرقة صغيرة حياة آلان تورينغ رأسًا على عقب. ويتتبع هذا الفصل المحاكمة والعقوبة اللتين تعرض لهما آلان تورينغ من عام 1952 حتى أوائل صيف عام 1954، والمسار الذي أدارت فيه الدولة التي حماها ظهرها له.

15.1. حادثة السرقة والمحاكمة بتهمة 'الفحش الجسيم'

في عام 1950، اشترى آلان تورينغ منزلًا في بلدة ويلمسلو الصغيرة الواقعة جنوب مانشستر وعاش فيه بمفرده. وكان ينتقل إلى الجامعة بالقطار أو بالدراجة الهوائية، وكلما وجد وقت فراغ ركض في الدروب الريفية. لقد استمتع بالجري لمسافات طويلة منذ شبابه، وحقق أحيانًا أرقامًا قياسية تضاهي أرقام عدائي الماراثون.

في ديسمبر 1951، التقى آلان تورينغ بشاب في التاسعة عشرة من عمره يُدعى أرنولد موراي (Arnold Murray) بالقرب من سينما في طريق أكسفورد بوسط مانشستر. كان موراي شابًا فقيرًا عاطلًا عن العمل. دعاه آلان تورينغ لتناول الغداء، والتقى الاثنان بعد ذلك عدة مرات حتى نشأت بينهما علاقة عاطفية. ويُطلق اسم المثلية الجنسية على حب الرجل للرجل، أو حب المرأة للمرأة. وكان آلان تورينغ يعرف منذ أن كان طالبًا أنه ينجذب

إلى الرجال، ولم يخفِ ذلك عن أصدقائه المقربين.

في 23 يناير 1952، عاد آلان تورينغ إلى منزله ليجد أن لصًا قد اقتحمه وسرق بعض الملابس والأدوات المنزلية. أبلغ آلان تورينغ الشرطة بذلك. وبعد بضعة أيام، اعترف موراي بأن اللص يبدو أنه شخص يعرفه، وهو شاب يُدعى هاري. وفحصت الشرطة بصمات الأصابع المتروكة في المنزل وتعرفت على الجاني.

ولكن في أثناء ملاحقة الجاني، اكتشفت الشرطة أيضًا طبيعة العلاقة القائمة بين آلان تورينغ وموراي. وفي فبراير 1952، جاء ضباط الشرطة إلى منزل آلان تورينغ واستجوبوه حول هذا الأمر. لم يخفِ آلان تورينغ شيئًا، بل روى حقيقة علاقته بموراي وكتب ذلك بنفسه في إفادة خطية قدمها إليهم. إذ لم يكن آلان تورينغ يرى أي خطأ في وجود علاقة قائمة على التراضي بين شخصين بالغين.

لكن القانون البريطاني في ذلك الوقت لم يكن يرى الأمر على هذا النحو. فقد نصت المادة 11 من قانون تعديل القانون الجنائي لعام 1885 على تجريم الممارسات الجنسية المثلية بين الرجال بوصفها جريمة 'فحش جسيم' (gross indecency). ولم يكترث القانون لما إذا كان الطرفان متراضيين. وكان الحكم بالإدانة في هذه الجريمة يعني إمكانية السجن لمدة تصل إلى عامين. وكان هذا النص بعينه هو الذي قاد الكاتب الإيرلندي الشهير أوسكار وايلد إلى السجن في عام 1895، كما عوقب بموجبه العديد من الرجال كل عام في بريطانيا خلال خمسينيات القرن العشرين. وكانت الإفادة الخطية الصريحة التي قدمها آلان تورينغ للشرطة، بموجب هذا القانون، دليلًا مباشرًا على ارتكاب الجريمة.

ألقت الشرطة القبض على آلان تورينغ ومورای وأحالتهما معًا إلى المحاكمة. وفي 27 فبراير 1952، عُقدت الجلسة التمهيدية الأولى في محكمة الصلح في ويلمسلو. أما المحاكمة الرسمية فعُقدت في 31 مارس 1952 في محكمة الربع السنوية في نوتسفورد. ومحكمة الربع السنوية هي محكمة جنائية محلية بريطانية كانت تنعقد أربع مرات سنويًا، في كل فصل من فصول السنة. وكان الاسم الرسمي للمحاكمة هو 'الملكة ضد تورينغ ومورای' (Regina v. Turing and Murray).

مع اقتراب المحاكمة، كان على آلان تورينغ تحديد كيفية التعامل معها. كان يؤمن بأن القانون مجحف، وفكّر في البداية في الدفاع عن موقفه في قاعة المحكمة مؤكدًا أنه لم يفعل شيئًا خاطئًا. لكن قلق شقيقه الأكبر جون تورينغ ومحاميه كان شديدًا؛ فلو خاض النزاع حتى النهاية وخسره لكان مصيره السجن، وحينها ستتوقف أبحاثه وعمله على الحواسيب تمامًا. استمر الاثنان في إقناع آلان تورينغ طويلًا، فاختار في النهاية الاعتراف بالذنب. لم يكن ذلك نابعًا من تغييره لقناعته، بل كان انحناءً أمام سلطة القانون حتى يتسنى له مواصلة أبحاثه.

وحضر إلى قاعة المحكمة زميله عالم الرياضيات ماكس نيومان وزميله السابق في بلتشلي بارك هيو ألكسندر للإدلاء بشهادتيهما حول شخصية آلان تورينغ ونزاهته. وقال هيو ألكسندر إن آلان تورينغ موهبة استثنائية لا غنى للبلاد عنها. لكنه لم يتمكن من توضيح سبب ذلك؛ لأن ما قام به آلان تورينغ أثناء الحرب كان لا يزال طي الكتمان بوصفه سرًا من أسرار الدولة. فالسر عينه الذي منعه من إخبار أسرته بسبب منحه الوسام، منعه هذه المرة أيضًا من ذكر فضله وإنجازاته في المحكمة ولو بكلمة واحدة.

أصدر القاضي حكمًا بإدانة آلان تورينغ، بينما أصدر بحق موراي حكمًا بالإفراج المشروط، وهو ما يعني عدم توقيع عقوبة إضافية عليه طالما لم يرتكب جرمًا آخر خلال فترة محددة. ونُشرت أخبار المحاكمة في الصحف المحلية، فعلم بالأمر الجيران والزملاء في الجامعة، وكذلك والدته سارة تورينغ.

15.2. خيار قاس: الإعطاء القسري للمواد الكيميائية

مع صدور حكم الإدانة، خيّر القاضي آلان تورينغ بين طريقين: إما السجن، أو الخضوع للمراقبة القضائية مع تلقي العلاج الهرموني. والمراقبة القضائية نظام يسمح للمحكوم عليه بالعيش داخل المجتمع بدلًا من إيداعه السجن، مع متابعة مدى التزامه بشروط محددة. وتُظهر وثيقة العفو الملكي التي كُشف عنها لاحقًا أنه كان يتعين على آلان تورينغ البقاء تحت المراقبة لمدة 12 شهرًا، وتلقي العلاج على يد طبيب مؤهل في مستشفى مانشستر الملكي (Manchester Royal Infirmary).

كانت المفاهيم الطبية الخاطئة السائدة آنذاك هي التي أتاحت للمحكمة تقديم 'العلاج' بديلًا للعقوبة. فقد كان العديد من الأطباء والقضاة في بريطانيا يعدون المثلية الجنسية مرضًا تجب معالجته؛ إذ اعتقدوا أنها تنجم عن اختلال توازن الهرمونات في الجسم، وظنوا أن إعطاء الهرمونات الأنثوية لكبت الرغبة الجنسية يعد علاجًا شافيًا. ولم تكن لتلك الفكرة أي أسس علمية؛ فالطب الحديث اليوم لا يرى المثلية الجنسية مرضًا، وقد شطبت منظمة الصحة العالمية (WHO) المثلية الجنسية من قائمة الأمراض في عام

1990. وكان هذا الإجراء يُعرف حينذاك باسم 'العلاج بالأعضاء' (organotherapy)، بينما يُطلق عليه اليوم اسم 'الإخصاء الكيميائي'، وهو ما يعني كبت الوظيفة الجنسية لدى الذكور بواسطة الأدوية.

قبل آلان تورينغ العلاج الهرموني؛ فدخول السجن كان سيحرمه من التردد على مختبره، وكان سيجبر المعادلات الرياضية التي يحسبها والبرامج التي يشغلها على الحاسوب على التوقف التام. وكما كان الحال حين أقر بالذنب، ظل معيار الحكم في هذه المرة أيضًا هو إمكانية مواصلة أبحاثه. ورغم أنه بدا في الظاهر مسارًا اختاره بنفسه، إلا أنه لم يكن يملك أي خيار آخر في ظل التهديد بالسجن.

اعتبارًا من أبريل 1952، بدأ آلان تورينغ في تلقي دواء يُدعى ستيلبوستيرول (stilboestrol). واسمه الكيميائي هو ثنائي إيثيل ستيلبوستيرول (diethylstilbestrol)، وهو هرمون أنثوي اصطناعي من صنع الإنسان. في البداية، تناوله على شكل أقراص، ثم زُرع الدواء لاحقًا تحت جلد فخذه لينتشر تدريجيًا في جسده. واستمر هذا الإجراء العلاجي لمدة عام تقريبًا.

غيّر الدواء جسد آلان تورينغ. فقد فقد قدرته الجنسية كرجل، وازداد وزنه وتغير شكل جسده. كما أصيب بالتثدي (gynaecomastia)، حيث تضخم صدره مثل النساء. وبالنسبة لشخص كان يركض لعشرات الكيلومترات عبر الحقول، كان شعوره بأن جسده أصبح غريبا عنه كأنه جسد شخص آخر ألما كبيرا. وتركت التغيرات في جسده جرحا عميقا في نفسه أيضا.

تتجلى مشاعر آلان تورينغ في تلك الفترة في الرسائل التي بعث بها إلى أصدقائه. ففي رسالة وجهها قبيل المحاكمة إلى تلميذه وصديقه نورمان روتليدج، كتب أنه بعد اجتياز كل هذا الأمر سيصبح شخصا آخر، غير أنه لا يعرف بعد أي شخص سيكون. وفي رسالة أرسلها بعد بدء العلاج إلى صديقه عالم الرياضيات فيليب هول، كتب أن هذا الدواء يقلل من الرغبة الجنسية، غير أنهم يقولون إن الأمور ستعود إلى طبيعتها بمجرد انتهاء العلاج، وأنه يأمل أن يكون ذلك القول صحيحا.

بذل آلان تورينغ وسعه كي لا ينهار. حتى إنه كان يمازح أصدقاءه المقربين قائلا إن صدره يكبر بسبب الدواء. وكانت تلك طريقته الخاصة في تحمل الألم بالضحك. ورغم أن بعض الأفلام والروايات تصوره وكأن روحه المعنوية انهارت على الفور بعد العلاج الهرموني، فإن السجلات الفعلية تظهر أمرا مختلفا.

ما تظهره السجلات هو أن أبحاثه لم تتوقف خلال هذه الفترة أيضا. ففي عام 1952، نُشرت ورقته البحثية «الأسس الكيميائية للتشكل الحيوي»، التي فسر فيها أنماط الحياة بالرياضيات، في مجلة الجمعية الملكية البريطانية. كما واصل آلان تورينغ في كل ليلة استخدام حاسوب فيرانتي مارك 1 (Ferranti Mark 1) لحساب ترتيب أوراق النباتات. وفي عام 1953، استحدثت جامعة مانشستر من أجله منصب «أستاذ مشارك في نظرية الحوسبة (Reader in the Theory of Computing)». وفي عام 1954، كتب لعامة القراء مقالا بعنوان «المسائل القابلة للحل والمسائل غير القابلة للحل» ونشره في مجلة علمية.

انتهى العلاج الهرموني في ربيع عام 1953. غير أن وصمة «المجرم» لم تختفِ. وظلت التغيرات التي طرأت على جسده ونظرات الناس تؤثر في نفس آلان تورينغ لفترة طويلة.

15.3. الحرمان من التصنيف السري والعزلة

لم تكن الصحة الجسدية هي الشيء الوحيد الذي سلبته الإدانة من آلان تورينغ. فقد فقد أيضا الأهلية للتعامل مع أسرار الدولة. وتسمى هذه الأهلية «التصنيف الأمني» أو «التصريح الأمني». ولا تسمح الحكومة بالاطلاع على أسرار الدولة إلا لمن يمتلك هذا التصنيف.

بعد انتهاء الحرب، تغير اسم منظمة فك الشفرات في بليتشلي بارك في عام 1946 إلى مقر الاتصالات الحكومية (GCHQ). وكان آلان تورينغ، أثناء عمله في جامعة مانشستر، يقدم الاستشارات في مجال التشفير لصالح GCHQ، نظرا لأن المعرفة والخبرة اللتين راكمهما خلال الحرب كانتا لا تزالان مطلوبتين. غير أنه مع إلغاء تصريحه الأمني إثر إدانته، لم يعد بإمكانه مواصلة عمله الاستشاري الذي تولاه بعد الحرب. لقد مُحي اسمه من عالم أبحاث الشفرات الذي كان هو أول من مهد سبيله.

كان لإجراء الحكومة هذا خلفية تاريخية خاصة بتلك الحقبة. فبعد انتهاء الحرب، انقسم العالم إلى معسكرين: طرف يضم الولايات المتحدة وبريطانيا، وآخر يضم الاتحاد السوفيتي، وسادت الشكوك بينهما. وتعرف تلك الفترة التي اتسمت بمواجهة باردة دون

إطلاق نار بالحرب الباردة. وأرسل كلا المعسكرين جواسيس لمعرفة أسرار الطرف الآخر.

في بريطانيا، ربط حادث واحد بين هذه المخاوف والشكوك تجاه المثليين جنسيا. ففي مايو 1951، فر الدبلوماسيان في وزارة الخارجية البريطانية غاي بيرجس ودونالد ماكلين فجأة إلى الاتحاد السوفيتي. وكان الاثنان جاسوسين نقلا أسرارا إلى الاتحاد السوفيتي لفترة طويلة، وكان بيرجس معروفا بأنه مثلي الجنس. وإثر هذا الحادث، شاعت داخل الحكومة البريطانية فكرة أن إيداع الأسرار لدى المثليين أمر محفوف بالمخاطر. بل وأجرت وزارة الخارجية تحقيقات سرية لتقييم المخاطر الأمنية المترتبة على توظيف المثليين.

كان منطق الحكومة يتمثل في الآتي: في مجتمع تُعتبر فيه المثلية جريمة يُعاقب عليها القانون عند اكتشافها، يمكن للدول المعادية استغلال هذا الأمر كنقطة ضعف وابتزاز المثليين لحملهم على تسليم الأسرار. بيد أن ما خلق نقطة الضعف تلك في الأصل كان القانون نفسه الذي جرّم المثلية الجنسية. ومع ذلك، وبدلا من تعديل القانون، آثرت الحكومة التشكيك في الأفراد.

كان الأمر مشابها في الولايات المتحدة أيضا. فقد طردت الحكومة الأمريكية المثليين من الوظائف الحكومية، وفي عام 1952، حظر قانون هجرة جديد دخول المثليين الأجانب. أما آلان تورينغ، الذي شارك البحرية الأمريكية تقنيات التشفير وعمل معها خلال الحرب، فقد رُفض دخوله إلى الولايات المتحدة في أعقاب إدانته.

وبعد سحب أهليته وتصريحه، فُرضت عليه المراقبة أيضا. فعندما أصبح الشخص الذي

يحمل في رأسه أهم أسرار التشفير للدولة «مجرما»، اعتبرته أجهزة الاستخبارات شخصا خطيرا. وظلت الشرطة وسلطات الاستخبارات تراقب من يلتقي به آلان تورينغ وإلى أين يذهب.

تعرض آلان تورينغ لهذه المراقبة خلال رحلتين. ففي عام 1952، سافر في رحلة إلى النرويج؛ إذ كانت بلدان شمال أوروبا أكثر تسامحا مع المثلية من بريطانيا. وهناك التقى بشاب يُدعى شيل كارلسون (Kjell Carlson). وفي مارس 1953، عندما حاول كارلسون القدوم إلى بريطانيا لمقابلة آلان تورينغ، بادرت الشرطة بالتحرك سريعا. وأُعيد كارلسون إلى النرويج دون أن يتمكن من لقاء آلان تورينغ. وقد باح آلان تورينغ لأصدقائه بأن هذه الحادثة كانت أزمة كبرى تضاهي المحاكمة نفسها. لقد اختبر عمليا حقيقة أن الدولة تتدخل وتراقب حتى من يقابله من أشخاص.

وفي عام 1953، ذهب في إجازة إلى جزيرة كورفو في اليونان. وكورفو جزيرة تقابل دولة ألبانيا الشيوعية عبر شريط بحري ضيق. ويشير كتاب سيرته إلى أن أجهزة الاستخبارات راقبت بقلق وتوجس سفر آلان تورينغ، وهو الذي يحمل أسرار الدولة، بالقرب من حدود المعسكر الشيوعي.

حافظ آلان تورينغ على منصبه البحثي في الجامعة، واستطاع مواصلة أبحاثه. غير أن العالم الذي كان ينتمي إليه أخذ يضيق تدريجيا. ففي كلية كينجز في كامبريدج وفي بليتشلي بارك، كان محاطا بزملاء يتقبلون شخصيته وطباعه وأفكاره غير المألوفة. أما الآن، فقد صار شخصا لا تثق به الدولة. ولم يعد بإمكانه التحدث عن مهام العمل السري

حتى مع زملائه القدامى، كما أن نظرات الجيران إليه لم تعد كما كانت في الماضي.

ومع ذلك، لم يكن آلان تورينغ يكتفي بالصمود بمفرده. فقد قصد الدكتور فرانز غرينباوم (Franz Greenbaum)، وهو محلل نفسي في مانشستر، وتلقى استشارات نفسية عنده. وبناء على نصيحة الدكتور غرينباوم، كان يدون في دفتر ملاحظات الأحلام التي يراها كل ليلة ليتفحص مكنونات نفسه. كما توطدت علاقته بأسرة الدكتور فصار يزورهم في منزلهم. وواصل تبادل الرسائل مع أصدقائه، واستمر في إجراء حساباته حول المسائل الرياضية وأنماط الكائنات الحية.

ورغم ذلك، لم يتغير الواقع المتمثل في أن الدولة تعامله كخائن محتمل ومجرم. فخلال الحرب، فك أسرار ألمانيا لصالح بلاده. وبعد أن وضعت الحرب أوزارها، جرمت تلك الدولة نفسها حياته الشخصية، وحقنت جسده بالعقاقير، وأوصدت دونه أبواب الأسرار، وراقبت خطواته. ولهذا السبب وردت عبارة «تمييز الدولة» في عنوان هذا الفصل.

في مساء 7 يونيو 1954، توفي آلان تورينغ في منزله في ويلمسلو. وكان ذلك قبل أسبوعين تقريبا من عيد ميلاده الثاني والأربعين. وفي صباح اليوم التالي، 8 يونيو، عثر عليه الشخص الذي كان يساعد في تدبير شؤون المنزل.

الفصل 16. وفاة تورينغ ورد اعتباره المتأخر (بعد عام 1954)



الشكل 16. تم التعبير عن تخليد ذكرى تورينغ من خلال مقعد فارغ ودفتر ملاحظات.

في أوائل صيف عام 1954، توفي عالم الرياضيات آلان تورينغ عن عمر يناهز 41 عامًا في بلدة ويلمسلو الصغيرة الواقعة في شمال غرب إنجلترا. لقد ابتكر آلة حسابية تخيلية وضع بها الأساس النظري للحاسوب، وخلال الحرب ساهم في إنقاذ حياة الكثير من الناس من خلال فك شفرات الجيش الألماني. وفي مانشستر، كتب برامج لحواسيب حقيقية، وسعى إلى تفسير ترتيب بذور دوار الشمس وكيفية تشكل الأنماط على جلود الحيوانات رياضيًا.

ومع ذلك، عندما توفي، لم يكن يعلم بهذه الإنجازات حق المعرفة سوى قلة نادرة من الناس. فقد كانت أعماله أثناء الحرب سرًا من أسرار الدولة، وكان كثير من الناس يعرفونه فقط كرجل عوقب بسبب مثليته الجنسية. وعلى مدار أكثر من نصف قرن تلا ذلك، أعاد المجتمع البريطاني اكتشاف عالم الرياضيات المنسي هذا تدريجيًا. ويظهر هذا المسار بوضوح في اعتذار الحكومة المتأخر، والعفو الملكي، والقانون الذي يحمل اسمه، والورقة النقدية التي طُبعت عليها صورته.

16.1. مأساة 8 يونيو 1954

غالبًا ما تذكر الكتب والأفلام أن تورينغ توفي في 8 يونيو. غير أن يوم وفاته واليوم الذي عُثر فيه عليه مختلفان. فقد لفظ تورينغ أنفاسه الأخيرة ليلة الاثنين 7 يونيو 1954 في غرفة نوم منزله الكائن في 43 أدلينغتون رود ببلدة ويلمسلو، وكان ذلك اليوم عطلة رسمية في بريطانيا. وفي صباح اليوم التالي، الثلاثاء 8 يونيو، عثرت عليه مدبرة المنزل التي جاءت للمساعدة في الأعمال المنزلية مستلقيًا على سريره، وذلك قبل 16 يومًا من

عيد ميلاده الـ 42.

حضرت الشرطة وطبيب إلى المنزل وعاينا الجثة، وكشف تشريح الجثة أن سبب الوفاة هو التسمم بالسيانيد. والسيانيد مادة سامة تعيق قدرة خلايا الجسم على استخدام الأكسجين. وينتمي إلى هذه المواد سيانيد البوتاسيوم، الذي استخدمه تورينغ في تجارب الطلاء بالذهب. وبعد بضعة أيام، عُقدت جلسة تحقيق رسمي في أسباب الوفاة. والتحقيق في أسباب الوفاة هو إجراء رسمي لتحديد سبب الموت المفاجئ. وفي هذا التحقيق، قضى المحقق الشرعي بأن تورينغ قد أقدم على الانتحار. وحُرقت رفات تورينغ في 12 يونيو في محرقة ووكينغ للجثث، ونُثر رماده هناك في نفس المكان الذي نُثر فيه رماد والده قبل بضع سنوات.

ومع حكم المحقق الشرعي، انتشرت قصة 'تفاحة السيانيد' انتشارًا واسعًا. فقد كانت هناك تفاحة مقضومة جزئيًا موضوعة على الطاولة بجانب السرير، وظن الناس أن تورينغ غمس التفاحة في السيانيد ثم أكلها. ولكن في هذه القصة جانب لم يتم التحقق منه؛ فالشرطة والمحقق الشرعي في ذلك الوقت لم يفحصوا ما إذا كانت التفاحة تحتوي على سم أم لا، كما لم يُعثر على أي رسالة انتحار. وبالتالي، فإن القول بأن التفاحة كانت أداة الموت ليس حقيقة مؤكدة بالفحص، بل مجرد تخمين نشأ من مشهد مكان الوفاة.

ونظرًا لعدم فحص التفاحة وغياب أي رسالة انتحار، لا تزال هناك تفسيرات متباينة لوفاة تورينغ حتى يومنا هذا. التفسير الأول هو أنه انتحر وفقًا لقرار المحقق الشرعي. ويدعم هذا الرأي عالم الرياضيات أندرو هودجز، مؤلف السيرة الذاتية البارزة لتورينغ. فبعد أن

شاهد تورينغ فيلم الرسوم المتحركة من ديزني 'بياض الثلج والأقزام السبعة' في كامبريدج عام 1938، أُعجب بمشهد غمس الساحرة التفاحة في السم وكان كثيرًا ما يقلده. وافترض هودجز أن تورينغ ربما حاكى ذلك المشهد، أو ربما دبر الأمر ليبدو كأنه حادث عرضي لتقليل حزن والدته.

التفسير الثاني هو أن الوفاة كانت حادثًا عرضيًا. فلم تتقبل سارة تورينغ، والدة تورينغ، طوال حياتها الحكم بانتحار ابنها. فقد كان تورينغ قد أقام مختبرًا في غرفة صغيرة في منزله، وكان يجري تجارب طلاء بالذهب للملاعق باستخدام الكهرباء. وكان سيانيد البوتاسيوم يُستخدم في تجارب الطلاء هذه. وجادلت سارة بأن ابنها كانت لديه عادة عدم غسل يديه جيدًا، وأنه ابتلع دون علم السم العالق بيديه أثناء التجربة.

التفسير الثالث هو رأي باحثين أعادوا فحص الأدلة بين التفسيرين. ففي عام 2012، وهو العام الذي وافق الذكرى المئوية لميلاد تورينغ، قال الباحث المتخصص في تورينغ، جاك كوبلاند، إن هناك حاجة لإعادة النظر في قرار المحقق الشرعي. واستند في ذلك إلى عادات تورينغ المعتادة وتحركاته في أيامه الأخيرة. إذ كانت لتورينغ عادة تناول تفاحة قبل النوم، وكان من الشائع أن يترك جزءًا منها دون أن يكملها؛ ومن ثم فمن الصعب اعتبار بقايا التفاحة بجوار السرير ذات مغزى خاص. علاوة على ذلك، ترك تورينغ عند مغادرته المكتب يوم الجمعة مذكرة بالمهام التي سيقوم بها يوم الاثنين، وتذكره المحيطون به بأنه ظل مبتهجًا ويتمتع بروح الدعابة حتى النهاية. ورأى كوبلاند أيضًا أنه ربما استنشق غاز سيانيد الهيدروجين المتولد أثناء التجربة.

وحتى اليوم، لا يمكن معرفة أي من هذه التفسيرات الثلاثة هو الصحيح. وهنا تدعو الحاجة إلى التمييز بين ما هو مؤكد وما ليس كذلك. فوفاة تورينغ بتسمم السيانيد حقيقة مثبتة بالتشريح، لكن الظروف والمسارات الدقيقة التي أدت إلى هذا التسمم لم تُحسم. كما أن قصة احتواء التفاحة على السم هي أقرب إلى رواية متداولة بين الناس منها إلى حقيقة مؤكدة.

وهناك شائعة أخرى انتشرت بخصوص التفاحة، وهي أن شعار شركة الحواسيب الأمريكية أبل، المتمثل في تفاحة مقضومة، وُضع تكريمًا لتورينغ. هذه الشائعة غير صحيحة؛ فقد أوضح مصمم الشعار روب يانوف مرارًا وتكرارًا أنه لا علاقة للشعار بتورينغ، وإنما وُضعت أثر القضة حتى لا تبدو التفاحة شبيهة بالكرز أو الطماطم. وعندما سأل الممثل البريطاني ستيفن فراي ستيف جوبز عن هذه الشائعة، أجاب جوبز بابتسامة متمنيًا لو كان الأمر كذلك، لكنه نفى ذلك.

16.2. اعتذار متأخر وعفو ملكي

حتى بعد وفاة تورينغ، ظل ما أنجزه أثناء الحرب سرًا لفترة طويلة. ورغم أنه نال وسام رتبة الإمبراطورية البريطانية (OBE) في عام 1946، لم يكن سبب منح الوسام سوى إيضاح موجز هو 'للعمل في وزارة الخارجية'. وبسبب قانون الأسرار الرسمية، لم يكن مسموحًا لأحد بالحديث عن فك شفرة إنيغما في بلتشلي بارك. ورحل تورينغ نفسه عن الدنيا دون أن يبوح بهذا الأمر حتى لأسرته.

بدأت خيوط السر تتكشف في سبعينيات القرن العشرين، عندما رفعت الحكومة البريطانية السرية تدريجيًا عن سجلات فك الشفرات أثناء الحرب. وفي عام 1974، صدر كتاب يتناول عملية فك الشفرات 'ألترا' في بلتشلي بارك، فعرف الناس لأول مرة ما دار هناك. وفي عام 1983، نشر أندرو هودجز سيرة ذاتية بعنوان 'آلان تورينغ: إنيغما'. وعلم كثير من الناس من خلال هذا الكتاب أن تورينغ كان أبا للحاسوب وأحد الأبطال المجهولين في الحرب. وفي الوقت نفسه، كُشف أيضًا عن أن رجلاً بهذه المكانة قد خضع للمحاكمة بسبب مثليته الجنسية، واضطر إلى تلقي حقن الهرمونات الأنثوية تفاديًا لدخول السجن.

وعندما عُرفت إنجازاته بالتوازي مع العقوبة التي فُرضت عليه، تعالت الأصوات المطالبة بأن تتبنى الدولة موقفًا مسؤولًا حيال هذه القضية. وفي أغسطس 2009، أطلق مبرمج الحواسيب البريطاني جون غراهام-كومينغ عريضة عبر الإنترنت تطالب الحكومة بتقديم اعتذار رسمي لتورينغ. وفي غضون أسابيع معدودة، وقّع أكثر من 30 ألف شخص على العريضة، وأضاف علماء وكتاب وسياسيون أسماءهم إليها.

وجاء رد الحكومة بعد نحو شهر؛ ففي 10 سبتمبر 2009، أصدر رئيس الوزراء غوردون براون بيانًا نيابة عن الحكومة البريطانية. واعترف براون بأن المعاملة التي لقيها تورينغ كانت مروعة وغير عادلة على الإطلاق. وتحدث نيابة عن الحكومة البريطانية وجميع الذين يعيشون بحرية بفضل تورينغ قائلًا: "نحن نعتذر، لقد كنت تستحق معاملة أفضل بكثير". وكان هذا أول اعتراف رسمي من الدولة بخطئها بعد 55 عامًا من وفاة تورينغ.

ومع ذلك، لم يكن الاعتذار إجراءً ذا أثر قانوني؛ فقد ظل حكم إدانة تورينغ قائمًا في السجلات القانونية. لذلك، استمرت المطالبات التي تتجاوز الاعتذار وتدعو إلى إصدار عفو عن الإدانة الصادرة سابقًا. والعفو هو قيام الدولة بإسقاط العقوبة الصادرة أو آثارها والصفح عنها. غير أن العفو يختلف عن إعادة المحاكمة وإعلان البراءة، لأنه ليس تصحيحًا لحكم الإدانة بحد ذاته باعتباره خطأً، بل هو إجراء لإسقاط العقوبة الناجمة عن ذلك الحكم.

جاءت المطالبة بالعفو من البرلمان والأوساط العلمية معًا. فقد قدم جون ليتش، عضو مجلس العموم عن دائرة مانشستر ويثينغتون، مشاريع قوانين متكررة إلى البرلمان للعفو عن تورينغ. وفي مجلس اللوردات، قدم اللورد شاركي مشروع قانون بالمضمون نفسه. وفي ديسمبر 2012، نشر علماء بارزون، مثل عالم الفيزياء ستيفن هوكينغ، ورئيس الجمعية الملكية بول نيرس، وعالم الفلك مارتن ريس، رسالة في الصحف طالبوا فيها بالعفو.

في البداية، ترددت الحكومة بحجة أنه من الصعب الآن نقض حكم صدر وفقًا لقوانين تلك الفترة. لكن الرأي العام المطالب بالعفو تنامى باطراد. وأخيرًا، في عشية عيد الميلاد، 24 ديسمبر 2013، منحت الملكة إليزابيث الثانية العفو لتورينغ؛ حيث قبلت توصية وزير العدل كريس غريلينغ، واستخدمت 'امتياز الرحمة الملكي' الحصري للملك للعفو عن إدانة عام 1952.

انتشر نبأ العفو عن تورينغ في العديد من دول العالم، لكن هذا العفو أثار قضية جديدة؛ فقد

عوقب أكثر من عشرات الآلاف من الأشخاص بموجب القانون ذاته، وكان معظمهم من عامة الناس غير المشهورين. وظهرت انتقادات تتساءل عما إذا كان من العدل العفو عن عالم مشهور واحد فقط، مما قاد إلى المطالبة بتوسيع نطاق المشمولين بالعفو.

16.3. 'قانون آلان تورينغ' والورقة النقدية الجديدة من فئة 50 جنيهًا إسترلينيًا

لفهم هذا المطلب، ينبغي أولًا إدراك مدى طول الفترة التي طُبق فيها ذلك القانون وعدد الأشخاص الذين طالهم. ففي إنجلترا وويلز، ظلت القوانين التي تعاقب على العلاقات الجنسية بين الرجال سارية لفترة طويلة. وفي عام 1967، رُفعت العقوبة عن العلاقات الجنسية الرضائية بين الرجال الذين تبلغ أعمارهم 21 عامًا فأكثر في الأماكن الخاصة. وظلت بعض البنود التمييزية قائمة بعد ذلك إلى أن أُلغيت تمامًا في عام 2003. وخلال تلك الحقبة، اعتُقل العديد من الأشخاص وحُوكموا، وفقد كثير منهم وظائفهم أو انفصلوا عن عائلاتهم. وحتى بعد تعديل القانون، بقيت سجلاتهم الجنائية قائمة.

وبعد أن نال تورينغ العفو، جادل النائب جون ليتش واللورد شاركي ومنظمات حقوق الإنسان بوجوب العفو عن كل شخص عوقب بموجب القانون ذاته. وانضمت عائلة تورينغ أيضًا إلى الحملة؛ ففي عام 2015، سلمت أفراد من عائلته، بقيادة راشيل بارنز حفيدة أخيه، عريضة موقعة من أكثر من 500 ألف شخص إلى مقر رئاسة الوزراء. ووعدت الأحزاب السياسية الرئيسية تباعًا بتبني هذا المطلب.

وكانت النتيجة صدور 'قانون الشرطة والجريمة لعام 2017' الذي نال الموافقة الملكية في 31 يناير 2017. وبموجب هذا التشريع، أصبح يحق للمدانين في إنجلترا وويلز بموجب القوانين السابقة التي كانت تجرّم المثلية الجنسية نيل العفو، شريطة استيفاء معايير محددة. وتمثلت الشروط في أن يكون الطرف الآخر قد بلغ 16 عامًا فأكثر حينها، وأن تكون العلاقة بالتراضي، وألا يشكل الفعل جريمة وفق القوانين المعاصرة. ويُطلق الناس على أحكام العفو الواردة في هذا التشريع اسم 'قانون آلان تورينغ'؛ ورغم أنه ليس الاسم الرسمي، إلا أنه عُرف بذلك لأن القانون بدأ من العفو الممنوح لتورينغ.

واختلفت طريقة العفو اعتمادًا على ما إذا كان الشخص المستهدف قد فارق الحياة. فقد نال نحو 49 ألف شخص ممن توفوا بالفعل عفوًا بموجب هذا القانون، وهو الرقم الذي يُشار إليه عادة بنحو 50 ألف شخص. أما الأحياء، فقد أُتيح لهم التقدم بطلب إلى الحكومة لمحو سجلاتهم الجنائية والحصول على العفو؛ وتُعرف عملية محو السجل الجنائي في بريطانيا باسم 'شطب السوابق'. وفي عام 2022، عُدل القانون مرة أخرى لتوسيع نطاق السجلات المؤهلة للشطب. وهكذا، قاد العفو عن شخص واحد في نهاية المطاف إلى قانون رد الاعتبار لعشرات الآلاف من الأشخاص.

لم يخلد اسم تورينغ في كتب القوانين فحسب، بل نُقش أيضًا على النقود التي يحملها الناس بأيديهم كل يوم. ففي عام 2018، طلب بنك إنجلترا، البنك المركزي البريطاني، من الجمهور ترشيح علماء لوضع صورهم على ورقة الـ 50 جنيهًا إسترلينيًا الجديدة. وتلقى البنك أكثر من 200 ألف ترشيح. وبعد فرز المرشحين واختيار القائمة النهائية، أعلن البنك في 15 يوليو 2019 اختيار آلان تورينغ ليكون الشخصية التي ستتصدر ورقة الـ 50

جنيهًا الجديدة. وقدم محافظ البنك آنذاك، مارك كارني، تورينغ باعتباره الرجل الذي وضع الأسس النظرية للحواسيب الحديثة.

صدرت الورقة النقدية الجديدة لأول مرة في 23 يونيو 2021، وهو يوم ميلاد تورينغ. وقد صُنعت من البوليمر، وهي مادة بلاستيكية متينة تدوم طويلًا، بدلًا من الورق. ويحمل ظهر الورقة صورًا تجسد حياة تورينغ وأبحاثه؛ ففيها أولًا صورة فوتوغرافية التُقطت له عام 1951، وجداول ومعادلات من بحثه الصادر عام 1936 بعنوان 'عن الأعداد القابلة للحساب، مع تطبيق على مسألة القرار'. كما تضم الورقة رسمًا لنموذج 'بايلوت إيه سي إي' (Pilot ACE)، وهو النسخة التجريبية من حاسوب ACE الذي صممه تورينغ، ومخططات لآلة 'بومب' المستخدمة في فك شفرات إنيغما. وتظهر على رسم الشريط الورقي الذي يُدخل في الآلة أرقام ثنائية مكونة من 0 و1 تمثل تاريخ ميلاد تورينغ في 23 يونيو 1912. وترمز الرقاقة المعدنية الحمراء ذات الشكل الزهري والمستوحاة من دوار الشمس إلى أبحاثه في التخلق الشكلي في سنواته الأخيرة. وتحت ذلك، كُتب توقيع تورينغ مع عبارة قالها في مقابلة مع صحيفة 'ذا تايمز' عام 1949: "هذا ليس سوى تذوق مبدئي لما سيأتي، ومجرد ظل لما سيكون في المستقبل"، وهي عبارة تجسد نبوءته بأن الحواسيب ستحقق إنجازات أعظم بكثير في المستقبل.

وتحمل هذه الورقة النقدية دلالة أخرى تتجاوز تكريم إنجازاته العلمية؛ فقد أصبح تورينغ أول شخصية من الأقليات الجنسية تُخلد على أوراق بنك إنجلترا النقدية. واحتفاءً بالإصدار، رفع البنك علم قوس قزح فوق مبنى مقره الرئيسي في لندن. فالبلد الذي عاقب رجلًا قبل 70 عامًا بسبب مثليته الجنسية، وضع صورة الشخص الذي عانى للسبب نفسه

على ورقة الـ 50 جنيهًا إسترلينيًا، وهي أعلى فئة نقدية يصدرها بنك إنجلترا.

وبعد ذلك، ومع تغير ملك بريطانيا، بقيت مكانة تورينغ على الورقة النقدية دون تغيير. فبعد وفاة الملكة إليزابيث الثانية عام 2022 واعتلاء تشارلز الثالث العرش، توجب تغيير الصورة الشخصية على وجه الورقة النقدية. ومنذ 5 يونيو 2024، طُرحت أوراق نقدية جديدة تحمل وجه تشارلز الثالث، لكن ظهر الورقة لم يتغير؛ إذ لا يزال آلان تورينغ حاضرًا على ظهر ورقة الـ 50 جنيهًا إسترلينيًا حتى اليوم.

وهناك طرق عديدة أخرى لتخليد ذكرى تورينغ؛ إذ تمنح جمعية آلات الحوسبة الأمريكية منذ عام 1966 'جائزة تورينغ' سنويًا لمن يحققون إنجازات بارزة في علوم الحاسوب، وهي الجائزة التي تُلقب بـ 'نوبل في علوم الحاسوب'. وفي عام 2001، أُزيح الستار عن تمثال لتورينغ جالسًا على مقعد وهو ممسك بتفاحة في حديقة ساكفيل بمانشستر. وفي عام 2015، أسست بريطانيا معهدًا وطنيًا لأبحاث علوم البيانات والذكاء الاصطناعي وسمته 'معهد آلان تورينغ'. كما تحول بلتشلي بارك، حيث كان يعمل، إلى متحف يستقبل حشودًا غفيرة من الزوار سنويًا.

في يونيو 1954، توفي تورينغ وحيدًا في منزله في ويلمسلو، ولا يزال مجهولًا حتى اليوم كيف قضى ليلته الأخيرة. ومع ذلك، فإن الأفكار التي تركها لم تختفِ؛ فالهواتف الذكية والحواسيب التي نستخدمها اليوم، والذكاء الاصطناعي الذي يتحاور مع البشر، كلها تمتد بجذورها النظرية إلى الآلة التخيلية التي رسمها على الورق في عام 1936.

الفصل 17. تاريخ الذكاء الاصطناعي وتطوره (من عقد 1950 إلى عقد 2020)



الشكل 17. تعبير عن مسار أبحاث الذكاء الاصطناعي عبر الشطرنج والشبكات العصبية.

كتب آلان تورينغ في عام 1948 تقريرا بعنوان "الآلات الذكية". وفي هذا التقرير، استشرف مسارين متكاملين لجعل الآلات ذكية. الأول هو مسار يحدد فيه الإنسان القواعد واحدة تلو الأخرى. والثاني هو مسار تتعلم فيه الآلة ذاتيا مع تراكم الخبرة، من خلال شبكات متصلة تشبه الخلايا العصبية في الدماغ.

وبعد عامين، في عام 1950، نشر تورينغ في المجلة الأكاديمية "مايند" ورقة بحثية بعنوان "الآلات الحاسوبية والذكاء". وفي هذه الورقة، طرح السؤال: "هل تستطيع الآلات أن تفكر؟"، واقترح "لعبة المحاكاة" للتمييز بين الإنسان والآلة من خلال المحادثة.

توفي تورينغ في يونيو 1954 عن عمر يناهز 41 عاما. غير أن السؤال الذي تركه لم يتلاشَ. وعلى مدى 70 عاما بعد رحيل تورينغ، سار العلماء بالتناوب في المسارين اللذين استشرفهما. فكلما انسد مسار انفتح الآخر، وتكرر تضخم التوقعات ثم انحسارها مرات عديدة. ومن خلال هذه المسيرة، تشكل الذكاء الاصطناعي اليوم.

17.1. مؤتمر دارتموث ونشأة الذكاء الاصطناعي الرمزي (1956–عقد 1970)

ظهور اسم "الذكاء الاصطناعي"

كان تورينغ يطلق على المجال الذي يبحث فيه اسم "الذكاء الآلي". أما الاسم الحالي لهذا المجال، فقد ظهر في العام التالي لوفاة تورينغ. ففي صيف عام 1955، صاغ عالم

الرياضيات الأمريكي الشاب جون مكارثي مقترحا بحثيا بالاشتراك مع ثلاثة من زملائه: مارفن مينسكي من جامعة هارفارد، وكلود شانون من مختبرات بل، وناثانيال روتشستر من شركة IBM. وكان المصطلح الذي ظهر لأول مرة في عنوان هذا المقترح هو "الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence)".

بناءً على ذلك المقترح، عُقد في صيف عام 1956 لقاء بحثي استمر نحو شهرين في كلية دارتموث بمدينة هانوفر في ولاية نيو هامبشير الأمريكية. ويُعرف هذا اللقاء باسم مؤتمر دارتموث. ورأى واضعو المقترح أنه إذا أمكن وصف كل جانب من جوانب الذكاء، بما في ذلك التعلم، بدقة، فإنه يمكن جعل الآلة تحاكيه. ويعد كثير من الباحثين هذا المؤتمر لحظة ولادة الذكاء الاصطناعي كفرع علمي قائم بذاته؛ وقد حدث ذلك بعد عامين من رحيل تورينغ.

آلات تفكر بالقواعد والرموز

وكان هناك برنامج يدعم هذه الفكرة حاضرا بالفعل في مؤتمر دارتموث. إنه برنامج "المنظّر المنطقي (Logic Theorist)" الذي جلبه هيربرت سيمون وألن نويل المشاركان في المؤتمر. استطاع هذا البرنامج أن يبرهن بنفسه نظريات منطقية واردة في كتب الرياضيات، ويُعد نموذجا مبكرا بارزا لآلة تنجز عملا كان يُعتقد أنه يتطلب حكمة بشرية. وعقب ذلك، طوّر الباحثان برنامج "حلّال المشكلات العام (GPS)" بهدف حل أنواع متعددة من المسائل بالطريقة نفسها. وفي عام 1958، ابتكر مكارثي لغة البرمجة "ليسب (LISP)" المصممة خصيصا لأبحاث الذكاء الاصطناعي.

آمن هؤلاء الباحثون الأوائل بإمكانية تحويل التفكير البشري إلى رموز وقواعد. فإذا دوّنا عبارتي "كل الطيور تستطيع الطيران" و"العصفور طائر" في صورة رموز، تستنتج الآلة أن "العصفور يستطيع الطيران". ويُطلق على هذا الأسلوب الذي يمثل المعرفة برموز ويجري الحسابات وفقا لقواعد منطقية اسم "الذكاء الاصطناعي الرمزي". كما يُسمى أيضا أسلوب "من أعلى إلى أسفل"، لأن الإنسان يحدد القواعد من الأعلى وتلتزم الآلة باتباع تلك القواعد. ويمكن ربط هذا النهج بما درسه تورينغ، من حيث إن الإنسان يحدد قواعد الحساب صراحة.

كانت الألعاب من المهام المفضلة لدى الذكاء الاصطناعي الرمزي، وكان تورينغ قد سلك هذا المسار مبكرا. ففي عام 1948، صمم تورينغ مع صديقه ديفيد شامبرنون برنامج شطرنج يُدعى "توروتشامب". وفي ذلك الحين، لم تكن هناك حواسيب قادرة على تشغيل هذا البرنامج، لذا لعب تورينغ الشطرنج مع زميل له في عام 1952 مستخدما الورقة والقلم لتتبع حسابات البرنامج يدويا. ويُروى أن النقلة الواحدة كانت تستغرق زهاء 30 دقيقة. اعتمد توروتشامب طريقة تستشرف النقلات المحتملة لعدة خطوات مقبلة وتختار أفضلها، وهي الطريقة التي أصبحت أساسا لبرامج الشطرنج. وبلغ ذلك المسار محطة فارقة في مايو 1997، عندما تغلّب حاسوب الشطرنج "ديب بلو" التابع لشركة IBM على بطل العالم غاري كاسباروف.

وظهرت أيضا برامج لتبادل الحديث؛ ففي عام 1966، قدّم جوزيف وايزنباوم من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT) في الولايات المتحدة برنامج المحادثة "إليزا (ELIZA)". حاكت إليزا أسلوب المعالج النفسي؛ فإذا بدأ المستخدم بالحديث عن أمه،

سألته أن يسترسل في الحديث عنها. لم تكن إليزا تفهم معنى الجمل، بل كانت تكتفي بالبحث عن كلمات في الجمل وتجيب وفق قوالب محددة سلفا. ومع ذلك، أفضى كثير من الناس بمكنونات صدورهم إليها. ويُحكى أن سكرتيرة وايزنباوم طلبت منه مغادرة المكان أثناء محادثتها مع إليزا. وبدلا من أن يسعد وايزنباوم بهذا المشهد، استبد به القلق؛ لأنه شعر بأن الناس يثقون بالآلة بسهولة بالغة.

وفي عام 1972، طوّر الطبيب النفسي كينيث كولبي برنامجا يُدعى "باري (PARRY)". حاكى باري لغة مريض مفرط في الشك بالآخرين. وعندما عُرضت نصوص المحادثات على أطباء نفسيين، عجز الأطباء عن التمييز بوضوح بين باري والمرضى الحقيقيين. وكانت هذه التجربة تشبه لعبة المحاكاة لتورينغ، من حيث الاعتماد على المحادثة وحدها للتمييز بين الإنسان والآلة.

تضخم التوقعات

ومع توالي النجاحات في إثبات النظريات ولعب الشطرنج والمحادثة، تملكت الباحثين أحلام كبرى. وتوقع هيربرت سيمون في عام 1965 أن الآلات ستكون قادرة في غضون 20 عاما على القيام بأي عمل يفعله الإنسان. كما قال مارفن مينسكي إن المشكلات الجوهرية للذكاء الاصطناعي ستُحل بصورة شبه تامة في غضون جيل واحد.

أما تنبؤ تورينغ فكان أكثر حذرا من ذلك؛ إذ كتب في ورقته البحثية عام 1950 أنه بعد نحو 50 عاما، لن تتجاوز فرصة الشخص العادي في تخمين ما إذا كان الطرف الآخر آلة

نسبة 70% بعد محادثة تستمر 5 دقائق. غير أن توقعات الباحثين الأوائل تجاوزت تنبؤ تورينغ بمراحل، وصدّقت الحكومات والجيوش وعودهم وقدمت ميزانيات ضخمة لتمويل الأبحاث.

17.2. شتاء الذكاء الاصطناعي والهجوم المضاد للنزعة الاتصالية (عقد 1980–عقد 2000)

الذكاء الاصطناعي الرمزي يصطدم بجدار

لم تتحقق وعود الباحثين بالقدر المأمول. ومع دخول عقد 1970، اصطدم الذكاء الاصطناعي الرمزي بجدارين.

الجدار الأول هو "الانفجار التوافقي". فحتى في المسائل ذات القواعد الواضحة كالشطرنج أو الألغاز، يتضاعف عدد الاحتمالات الواجب فحصها عدة مرات مع كل خطوة يُنظر فيها إلى الأمام. والبرامج التي كانت تعمل بكفاءة في مسائل التدريب الصغيرة، حوصرت في حسابات لا تنتهي أمام مشكلات العالم الواقعي.

والجدار الثاني هو "الحس السليم". فقاعدة "كل الطيور تستطيع الطيران" التي رأيناها آنفا تثبت عدم صحتها أمام البطاريق والنعام؛ فالطائر المصاب في جناحه، والطائر في اللوحة، والدجاج المشوي، كلها لا تطير. ويدرك الإنسان هذه الاستثناءات دون حاجة

لتعلمها على نحو خاص، ولكن كان لا بد من كتابة كل استثناء للآلة في صورة قاعدة، واستثناءات هذا العالم لا نهاية لها.

أصيبت الجهات الممولة للأبحاث بخيبة أمل. وفي عام 1973، أصدر عالم الرياضيات البريطاني جيمس لايتهيل تقريرا بتكليف من الحكومة لتقييم أبحاث الذكاء الاصطناعي، وخلص فيه إلى أن أبحاث الذكاء الاصطناعي لم تحقق النتائج الموعودة. وبعد صدور "تقرير لايتهيل" هذا، خفضت الحكومة البريطانية نفقات أبحاث الذكاء الاصطناعي تخفيضا كبيرا. كما قلصت وكالة داربا (DARPA)، وهي مؤسسة بحثية تابعة لوزارة الدفاع الأمريكية، دعمها في الفترة نفسها تقريبا. فتوقفت مشاريع بحثية متعددة، وترك الطلاب هذا المجال إلى مجالات أخرى. ويُطلق الناس على هذه الفترة اسم "شتاء الذكاء الاصطناعي الأول".

ربيع النظم الخبيرة والشتاء الثاني

في عقد 1980، بدا أن الذكاء الاصطناعي يشهد ربيعا جديدا، وكان بطل هذه المرحلة هو "النظم الخبيرة". لا تتعامل النظم الخبيرة مع العالم بأسره، بل تقتصر على معرفة مجال ضيق واحد. وتُنظم المعرفة المستخلصة من سؤال الخبراء كالأطباء أو المهندسين في مئات أو آلاف القواعد، مثل: "إذا ظهرت هذه الأعراض، فمن المرجح بشدة أن يكون هذا هو المرض"، وتُدخل إلى الحاسوب. وهذا الأسلوب يتبع مسار الذكاء الاصطناعي الرمزي تماما من حيث تحديد الإنسان للقواعد، ولكنه يضيق النطاق الذي يتعامل معه.

وظهرت بالفعل نماذج أثبتت فائدتها عمليا؛ ففي عقد 1970، طوّرت جامعة ستانفورد الأمريكية نظام "مايسين (MYCIN)" الذي استخدم نحو 600 قاعدة لاقتراح المضادات الحيوية المناسبة للمرضى المصابين بعدوى في الدم. ومنذ عام 1980، استخدمت شركة الحواسيب DEC نظاما خبيرا يدعى "إكسكون (XCON)" لاختيار تجميعات مكونات الحاسوب المناسبة لطلبات العملاء، مما وفر لها تكاليف هائلة سنويا. وتحركت الحكومات أيضا؛ إذ أطلقت الحكومة اليابانية في عام 1982 مشروع "حواسيب الجيل الخامس"، وسارعت الولايات المتحدة وبريطانيا إلى زيادة تمويل أبحاث الذكاء الاصطناعي مجددا.

ولكن هذا الربيع لم يدم طويلا. فقد استغرق تحويل المعرفة الموجودة في أذهان الخبراء إلى قواعد وقتا طويلا، وكثيرا ما عجز الخبراء أنفسهم عن شرح أحكامهم في هيئة قواعد. ومع تزايد القواعد لتصل إلى الآلاف، حدثت تعارضات بين القواعد، وكان إصلاح موضع ما يؤدي إلى نشوء مشكلات في موضع آخر. وإذا واجه النظام ظرفا لم تنص عليه القواعد، لم يستطع فعل أي شيء.

وقرابة عام 1987، انهارت سوق الحواسيب المخصصة للذكاء الاصطناعي. كما انتهى مشروع حواسيب الجيل الخامس الياباني في عام 1992 دون أن يحقق أهدافه. ويطلق الناس على فترة الركود هذه التي امتدت من أواخر عقد 1980 إلى أوائل عقد 1990 اسم "شتاء الذكاء الاصطناعي الثاني".

آلات تشبه الدماغ: الشبكات العصبية

وبينما كان المنهج الرمزي يقضي فصل الشتاء، كان باحثون آخرون يسلكون دربا مختلفا ويحشدون طاقاتهم في هدوء. وقد وجد هؤلاء الإجابة في دماغ الإنسان؛ إذ يحتوي الدماغ البشري على نحو 86 مليار خلية عصبية، وتتصل هذه الخلايا ببعضها لتتبادل الإشارات، وعندما يتعلم المرء شيئا ما، تتغير قوة هذه الروابط.

وتُسمى البرامج الحاسوبية التي تحاكي هذا المبدأ "الشبكات العصبية الاصطناعية". ويُطلق على فكرة بناء الذكاء عبر روابط الشبكات العصبية اسم "النزعة الاتصالية". كما تُسمى أيضا أسلوب "من أسفل إلى أعلى"، لأن الآلة تبني ذكاءها بالتعلم من التجربة من الأسفل إلى الأعلى، بدلا من تلقي القواعد المفروضة عليها من الأعلى.

وتعود جذور هذه الفكرة أيضا إلى تورينغ. ففي تقريره عام 1948 المعنون بـ "الآلات الذكية"، تخيل تورينغ "الآلات غير المنظمة". وتتمثل هذه الفكرة في بدء العمل بآلة ترتبط مكوناتها عشوائيا، ثم تعليمها عبر الثواب والعقاب، فتتغير الروابط تدريجيا لتتحول إلى آلة نافعة؛ ورأى تورينغ أن عقل الرضيع يشبه ذلك. لكن مدير مختبر الفيزياء الوطني الذي كان تورينغ يعمل فيه قلل من شأن هذا التقرير واعتبره بمستوى موضوع إنشاء لطالب مدرسي. ولم يُنشر هذا التقرير في كتاب ليصبح معروفا للعالم إلا في عام 1968، أي بعد 14 عاما من رحيل تورينغ.

وحتى عندما كان تقرير تورينغ مدفونا، انطلقت أبحاث الشبكات العصبية على نحو مستقل، غير أن ذلك الطريق لم يكن ممهدا هو الآخر. ففي عام 1958، أعلن عالم النفس الأمريكي فرانك روزنبلات عن "البيرسبترون" الذي يتعلم التمييز بين الحروف والأشكال،

مما جذب اهتماما واسعا. غير أن مارفن مينسكي وسيمور بابيرت أثبتا رياضيا في كتابهما "البيرسبترونات" الصادر عام 1969 أن البيرسبترون ذا الطبقة الواحدة لا يستطيع حتى حل المسائل المنطقية السهلة. وكان المثال الذي قدماه هو مسألة "XOR"، التي لا تكون نتيجتها صحيحة إلا إذا كان مدخل واحد فقط من المدخلين صحيحا. وعقب نشر هذا الكتاب، عانت أبحاث الشبكات العصبية طويلا من صعوبة الحصول على تمويل الأبحاث.

الانتشار العكسي للخطأ: نهوض الشبكات العصبية من جديد

كان مفتاح حل هذه المشكلة يكمن في بناء الشبكات العصبية من طبقات متعددة؛ فعند تكديس الطبقات، يمكن حل مسائل مثل XOR. ولكن مع زيادة عدد الطبقات، نشأت صعوبة جديدة تمثلت في صعوبة معرفة كيفية تعديل الروابط في الطبقات الداخلية.

وفي عام 1986، صاغ ديفيد روميلهارت وجيفري هينتون ورونالد ويليامز أسلوب "الانتشار العكسي للخطأ (الباك بروباجيشن)" ونشروه في المجلة العلمية "نيتشر". وكانت فكرة مماثلة قد طرحها الأمريكي بول ويربوس أولا في أطروحة الدكتوراه عام 1974. ويعمل هذا المبدأ على النحو التالي: عندما تصدر الشبكة العصبية إجابة، تُقاس درجة الخطأ بمقارنتها بالإجابة الصحيحة؛ ثم يُنقل هذا الخطأ في الاتجاه المعاكس من جهة المخرجات إلى جهة المدخلات، ويُحسب نصيب كل رابط من المسؤولية عن الخطأ لتعديله تدريجيا. ويشبه ذلك أسلوب الدراسة الذي يراجع فيه الطالب الأسئلة التي أخطأ فيها بعد الامتحان، ليعود إلى الوراء ويكتشف أين أخطأ ويصححه.

وسرعان ما استُخدم هذا الأسلوب في حل مشكلات حقيقية. ففي عام 1989، طوّر الباحث الفرنسي يان ليكون في مختبرات بل الأمريكية شبكة عصبية لقراءة الأرقام المكتوبة بخط اليد باستخدام الانتشار العكسي للخطأ. وكانت شبكة ليكون العصبية عبارة عن "شبكة عصبية التفافية" تقسم الصورة إلى أجزاء صغيرة لفحصها. وقد استُخدمت هذه التقنية في عقد 1990 في البنوك الأمريكية لقراءة الأرقام المكتوبة على الشيكات.

ورغم ذلك، لم تصبح الشبكات العصبية بطلة أبحاث الذكاء الاصطناعي حتى عقد 1990 وأوائل عقد 2000؛ فقد كانت الحواسيب بطيئة، وكانت البيانات اللازمة لتدريب الشبكات العصبية غير كافية، وكثيرا ما كانت الطرق الأخرى تحقق نتائج أفضل. وفي ظل هذه الظروف، لم يتخلَّ باحثون مثل هينتون وليكون والكندي يوشوا بنجيو عن أبحاث الشبكات العصبية. واستمرت الأبحاث التي تتساءل عما إذا كانت الآلات قادرة على التعلم من التجربة، من خلال مقاربات مختلفة لهؤلاء الباحثين المتعددين.

17.3. ثورة التعلم العميق وافتتاح عصر الذكاء الاصطناعي التوليدي (عقد 2010–عقد 2020)

تلاقي ثلاثة عناصر

كان سبب عدم تصدر الشبكات العصبية هو الحواسيب البطيئة ونقص البيانات. ولكن

قرابة عام 2010، توفرت لباحثي الشبكات العصبية ثلاثة عناصر طال انتظارها معا في وقت واحد.

العنصر الأول هو البيانات الضخمة؛ فمع انتشار الإنترنت والهواتف الذكية، تراكمت كميات هائلة من الصور والنصوص ومقاطع الفيديو. وفي عام 2009، كشفت فاي-فاي لي والفريق البحثي في جامعة برنستون عن قاعدة بيانات "إيميج نت (ImageNet)" التي وضعت تسميات توضيحية لما تحتويه الصور. وعرضت الورقة البحثية آنذاك نحو 3.2 مليون صورة، ثم تزايدت البيانات لاحقا لتتجاوز 14 مليون صورة.

العنصر الثاني هو وحدة معالجة الرسومات (GPU). وتُعد وحدة معالجة الرسومات في الأصل مكونا صُنع لعرض وتصيير مشاهد ألعاب الحاسوب؛ إذ تحسب النقاط الكثيرة التي تشكل الشاشة دفعة واحدة. وجاءت هذه القدرة ملائمة تماما لحساب روابط الشبكات العصبية الكثيرة في وقت واحد.

العنصر الثالث هو تقنية تدريب الشبكات العصبية ذات الطبقات العميقة تدريبا فعالا. فقد توصل باحثون، وفي طليعتهم هينتون، واحدا تلو الآخر إلى أساليب لتدريب الشبكات العصبية ذات الطبقات المتعددة العميقة. وتُسمى تقنية التعلم باستخدام شبكات عصبية عميقة باسم "التعلم العميق".

وفي عام 2012، التقت هذه العناصر الثلاثة في مكان واحد. ففي مسابقة إيميج نت للتعرف على الصور، فازت شبكة "أليكس نت (AlexNet)" بالمركز الأول، وهي شبكة

عصبية صممها هينتون مع تلميذيه أليكس كريجيفسكي وإيليا سوتسكيفر. ودُرّبت أليكس نت باستخدام وحدتي GPU مخصصتين للألعاب. وبالنظر إلى نسبة عدم وجود الإجابة الصحيحة ضمن أعلى 5 إجابات مرجحة، بلغت نسبة الخطأ لدى أليكس نت نحو 15%، بينما بلغت لدى الفريق صاحب المركز الثاني نحو 26%، بفارق تجاوز 10 نقاط مئوية عن صاحب المركز الثاني. وبعد رؤية هذه النتيجة، تسابق الباحثون والشركات للتحول نحو التعلم العميق؛ فتحسن التعرف على الوجوه في الصور، وتحويل الكلام المنطوق إلى نص، وترجمة اللغات الأجنبية تحسنا مذهلا في غضون سنوات قليلة.

مارس 2016: ألفا غو ولي سي-دول

وقعت الحادثة التي نشرت التعلم العميق على نطاق واسع بين عامة الناس في سيول. ففي الفترة من 9 إلى 15 مارس 2016، خاض برنامج لعبة الغو "ألفا غو" التابع لشركة غوغل ديب مايند خمس جولات أمام لي سي-دول الحائز على تصنيف 9 دان في أحد فنادق سيول. ولما كان عدد الاحتمالات الممكنة في لعبة الغو يفوق عدد ذرات الكون، فإن أسلوب دراسة النقلات واحدة تلو الأخرى كما في الشطرنج لا يجدي نفعا؛ ولهذا رأى كثير من الخبراء أن فوز الحاسوب على أفضل لاعبي الغو سيستغرق 10 سنوات أخرى على الأقل.

ولحل هذه المسألة، زوّد الفريق البحثي بقيادة ديميس هاسابيس وديفيد سيلفر برنامج ألفا غو بشبكتين عصبيتين: إحداهما لاختيار النقلات المرشحة التالية، والأخرى لتقييم من سيفوز في الوضع الحالي للرقعة. تعلّم ألفا غو أولا بالاطلاع على نحو 30 مليون

موضع مأخوذة من سجلات المباريات التي خاضها البشر، ثم طوّر قدراته بخوض مباريات لا تحصى ضد نفسه؛ فكان يعدل نفسه ليلعب النقلات التي أدت إلى الفوز بصورة متكررة أكثر، ويقلل من لعب النقلات التي قادت إلى الخسارة. ويُطلق على أسلوب التعلم هذا اسم "التعلم التعزيزي".

وانتهت المواجهة بفوز ألفا غو بنتيجة 4 إلى 1. وفي الجولة الثانية، اعتبر اللاعبون المحترفون النقلة رقم 37 التي لعبها ألفا غو خطأً في البداية، لكنها اعتُبرت لاحقا النقلة التي حسمت الفوز. وفي الجولة الرابعة، استطاع لي سي-دول (9 دان) بنقلته رقم 78 أن يربك حسابات ألفا غو ويفوز بتلك الجولة؛ وظلت هذه الجولة هي المباراة الرسمية الوحيدة التي خسر فيها ألفا غو أمام إنسان.

ويتصل أسلوب تعلم ألفا غو باقتراح تورينغ القديم؛ ففي القسم الأخير من ورقته البحثية عام 1950 المعنون بـ "آلات التعلم"، اقترح تورينغ بناء آلة تشبه عقل الطفل بدلا من تقليد عقل البالغ، وتعليمها بالثواب والعقاب. وكان ألفا غو نموذجا جسد ذلك الاقتراح الذي طُرح قبل 66 عاما على نطاق ضخم. وفي العام التالي، 2017، أعلنت ديب مايند عن "ألفا غو زيرو"، الذي تعلم بمفرده بمجرد معرفة قواعد الغو ودون الاستعانة بسجلات مباريات البشر؛ وخاض ألفا غو زيرو 100 جولة ضد ألفا غو الذي هزم لي سي-دول (9 دان)، وفاز فيها جميعا.

المحوّلات (ترانسفورمر): قراءة الجمل دفعة واحدة

بعد الصور ولعبة الغو، جاء دور اللغة. وحتى ذلك الحين، كانت الشبكات العصبية اللغوية تقرأ الجملة بالتتابع كلمة فكلمة من البداية؛ ولذلك كان يسهل نسيان محتوى الجزء الأول إذا طالت الجملة، كما كانت بطيئة لأن الانتقال إلى الكلمة التالية كان يتطلب انتهاء الحسابات الخاصة بالكلمة السابقة أولا.

في يونيو 2017، نشر 8 باحثين من شركة غوغل ورقة بحثية بعنوان "الانتباه هو كل ما تحتاج إليه (Attention Is All You Need)"، وقدموا فيها بنية شبكة عصبية جديدة تُدعى "ترانسفورمر (المحوّل)". يضع الترانسفورمر جميع كلمات الجملة دفعة واحدة، ويحسب مدى ارتباط كل كلمة بالكلمات الأخرى؛ وتُسمى هذه العملية الحسابية "الانتباه (Attention)". ولنأخذ مثالا الجملة: "أعار تشول-سو كتابا إلى يونغ-هي، وكانت هي ممتنة له"؛ يتوصل الترانسفورمر عبر الحساب إلى أن كلمة "هي" ترتبط ارتباطا وثيقا بـ "يونغ-هي". فهو يحسب العلاقات المباشرة بين الكلمات المتباعدة حتى لو طالت الجملة. وبالإضافة إلى ذلك، استغل الترانسفورمر وحدات معالجة الرسومات (GPU) بكفاءة عالية؛ نظرا لقدرته على معالجة حسابات مواضع متعددة بالتوازي أثناء التعلم. بيد أنه عند توليد نصوص جديدة، يُنشئ الأجزاء التالية بالتتابع استنادا إلى المحتوى الذي ظهر بالفعل.

النماذج اللغوية الكبيرة وشات جي بي تي

وانطلاقا من بنية الترانسفورمر، ظهرت "النماذج اللغوية الكبيرة (LLM)". تقرأ النماذج اللغوية الكبيرة نصوصا كثيرة كأمهات الكتب والمقالات والموسوعات، وتكرر التدرب على

تخمين الكلمة التالية في الجملة. وبما أن النص بحد ذاته يمثل السؤال والإجابة الصحيحة معا، فلا يحتاج الإنسان إلى وضع تسميات توضيحية لكل جزء يدويا.

طرحت شركة أوبن إيه آي الأمريكية أول نموذج GPT في عام 2018، وواصلت تكبير حجم النموذج بعد ذلك. واشتمل نموذج GPT-3 الصادر عام 2020 على 175 مليار معلمة، وهي الأرقام التي تمثل قوة الروابط. وعندما زاد حجم النموذج، بدأ ينجز أعمالا لم يتعلمها على نحو منفصل؛ فنظم الشعر، وبرمج تطبيقات الحاسوب، وترجم لغات متعددة.

وفي 30 نوفمبر 2022، أطلقت أوبن إيه آي خدمة المحادثة "شات جي بي تي (ChatGPT)". وبات بمقدور أي شخص الدخول إلى الموقع وطرح الأسئلة باللغة الكورية وتلقي الإجابات في جمل طبيعية. وظهرت تقديرات تشير إلى أن مستخدمي شات جي بي تي بلغوا نحو 100 مليون مستخدم بعد شهرين فقط من إطلاقه. وبعد ذلك، توالت شركات مثل غوغل وأنثروبيك وميتا في إطلاق نماذج لغوية كبيرة. وتُعرف أنظمة الذكاء الاصطناعي التي تنشئ صورا وموسيقى ومقاطع فيديو جديدة، فضلا عن النصوص، باسم "الذكاء الاصطناعي التوليدي".

وقد نالت الإنجازات التي طورت أبحاث الذكاء الاصطناعي التقدير في كبرى الجوائز الأكاديمية؛ إذ اختير هينتون وليكون وبنجيو لنيل جائزة تورينغ لعام 2018. وتُلقب جائزة تورينغ بجائزة نوبل في علوم الحاسوب، وقد استُمد اسمها من آلان تورينغ، وبذلك نال الباحثون الثلاثة الذين صمدوا في أبحاث الشبكات العصبية خلال شتاء الذكاء الاصطناعي جائزة تحمل اسم تورينغ. وفي عام 2024، حصل جون هوبفيلد وجيفري

هينتون على جائزة نوبل في الفيزياء لإرسائهما أسس أبحاث الشبكات العصبية. وفي العام نفسه، نال ديميس هاسابيس وجون جمبر جائزة نوبل في الكيمياء عن التنبؤ ببنية البروتين عبر ألفافولد، وحصل ديفيد بيكر على الجائزة ذاتها عن تصميم البروتين حاسوبيا.

عودة لعبة المحاكاة بعد 75 عاما

كما صعدت لعبة المحاكاة التي اقترحها تورينغ إلى المسرح مجددا؛ ففي مارس 2025، أعلن كاميرون جونز وبنجامين بيرغن من جامعة كاليفورنيا في سان دييغو الأمريكية عن نتائج تجربة أُجريت وفق أسلوب الأشخاص الثلاثة الذي اقترحه تورينغ في الأصل تماما. تحاور المشاركون نصيا في الوقت ذاته مع إنسان واحد ونظام ذكاء اصطناعي واحد لمدة 5 دقائق، ثم اختاروا أيهما الإنسان. وكان نموذج GPT-4.5، الذي تلقى توجيها بالتصرف كإنسان، قد اختير إنسانا في 73% من الحالات، فاختير إنسانا بتكرار أكبر من الإنسان الحقيقي. وسجلت إليزا 23% في التجربة ذاتها. ونُشرت هذه الدراسة كورقة بحثية رسمية في عام 2026 في الدورية العلمية الأمريكية "وقائع الأكاديمية الوطنية للعلوم (PNAS)".

ولا تعني هذه النتيجة على الفور أن الآلات تفكر كالإنسان. فنسبة 70% المذكورة سابقا لدى تورينغ هي معدل الإجابة الصحيحة لدى السائل، بينما نسبة 73% في هذه التجربة هي نسبة اختيار الذكاء الاصطناعي كإنسان، ولذلك لا يمكن مقارنة الرقمين مباشرة. كما يجب النظر في ظروف التجربة؛ فقد وجّه الباحثون نموذج GPT-4.5 للحديث كشاب

منطوٍ يألف ثقافة الإنترنت ويستخدم اللغة العامية، وعند إجراء التجربة دون هذا التوجيه هبطت النتيجة إلى 36%. وفضلا عن ذلك، فإن مسألة ما إذا كان تقديم إجابة معقولة يُعد معادلا للفهم تظل نقطة خلاف قديمة. فقد جادل الفيلسوف جون سيرل في عام 1980 عبر التجربة الفكرية "الغرفة الصينية" بأن استبدال الرموز وفقا للقواعد لإعطاء إجابات معقولة يختلف اختلافا تاما عن فهم المعنى. ولا يزال الباحثون منقسمين في آرائهم حول هذه المسألة حتى اليوم.

نما الذكاء الاصطناعي، الذي نال اسمه في دارتموث عام 1956، متنقلا بين مسار القواعد ومسار التعلم؛ فمن مسار القواعد ظهر ديب بلو، ومن مسار التعلم ظهر ألفا غو وشات جي بي تي. ويُعد تقرير تورينغ لعام 1948 من بين الأبحاث المبكرة التي استكشفت قواعد الآلات وتعلمها معا. وقد واصل العلماء أبحاثهم لأكثر من 70 عاما للإجابة عن سؤال تورينغ: "هل تستطيع الآلات أن تفكر؟"، وما زالت التقنيات التي نشأت خلال تلك المسيرة تغير تفاصيل حياتنا اليوم.

الفصل 18. الذكاء الاصطناعي في عام 2026 والمهام المتبقية



الشكل 18. رسم توضيحي لطلاب يفحصون معًا إجابات الذكاء الاصطناعي.

في أكتوبر 1950، نشر آلان تورينغ ورقة بحثية بعنوان "آلات الحوسبة والذكاء" في المجلة الفلسفية البريطانية "مايند" (Mind)، طارحًا فيها السؤال: "هل يمكن للآلات أن تفكر؟". واقترح "لعبة المحاكاة" طريقةً لإيجاد إجابة عن هذا السؤال. إنها اختبار يتحاور فيه السائل نصيًا فقط، ثم يخمن ما إذا كان الطرف الآخر إنسانًا أم آلة. وأضاف تورينغ إلى ذلك تنبؤًا؛ إذ قال إنه بعد حوالي 50 عامًا ستؤدي الحواسيب هذه اللعبة بصورة جيدة، بحيث لا تتجاوز احتمالية تمكن السائل العادي من تحديد الطرف الآخر بصورة صحيحة بعد حوار مدته 5 دقائق نسبة 70 بالمئة.

لقد مر 76 عامًا منذ أن كتب تورينغ هذا المقال، ونحن الآن في أكتوبر 2026. والذكاء الاصطناعي، الذي يذكّرنا بـ "الآلات المفكرة" التي تخيلها تورينغ، يُستخدم اليوم في كل مكان، من المدارس والمستشفيات، إلى المحاكم والشركات، والمختبرات البحثية. وفي هذا الفصل، سنستعرض بالتتابع إلى أي مدى وصل الذكاء الاصطناعي في عام 2026، وكيف يغير حياة الناس، وما الذي تطرحه علينا اليوم الأسئلة التي تركها تورينغ.

18.1. أكتوبر 2026: قفزة الذكاء الاصطناعي وواقعه الراهن

ذكاء اصطناعي اختير على أنه إنسان

بعد نشر ورقة تورينغ البحثية بوقت طويل، خاضت برامج عديدة تحدي اختبار تورينغ. غير أن معظمها واجه انتقادات لاعتمادها على حيل لخداع البشر بدلًا من إظهار الذكاء

الحقيقي. ومن الأمثلة على ذلك برنامج "يوجين غوستمان" في عام 2014، إذ تظاهر بأنه فتى أوكراني يبلغ من العمر 13 عامًا لا يجيد الإنجليزية جيدًا، لإخفاء أخطائه.

في مارس 2025، أعلن كاميرون جونز وبنجامين بيرغن من جامعة كاليفورنيا في سان دييغو بالولايات المتحدة عن نتائج تجربة جديدة صُممت بناءً على لعبة المحاكاة لتورينغ. تحاور المشاركون نصيًا في الوقت نفسه مع إنسان واحد وآلة واحدة لمدة 5 دقائق، ثم اختاروا أيهما هو الإنسان. ووقع الاختيار على نموذج GPT-4.5، الذي تلقى تعليمات بالتصرف كإنسان، على أنه إنسان في 73 بالمئة من الحالات. أي أنه اختير كإنسان بتكرار أكبر من الإنسان الحقيقي الذي شارك في الحوار. وبلغت نسبة نموذج LLaMa-3.1، الذي تلقى التعليمات نفسها، 56 بالمئة، بينما لم تتجاوز نسبة ELIZA وGPT-4o، اللذين أُدرجا للمقارنة، 23 بالمئة و21 بالمئة على التوالي. وأوضح فريق البحث أن هذه النتيجة تمثل أول دليل تجريبي على اجتياز آلة لاختبار تورينغ القياسي ثلاثي الأطراف. وقد نُشرت هذه الورقة البحثية رسميًا لاحقًا في وقائع الأكاديمية الوطنية للعلوم (PNAS).

هناك من يرى في هذه النتيجة تحققًا لنبوءة تورينغ. ومع ذلك، فإن نسبة 70 بالمئة التي ذكرها تورينغ ونسبة 73 بالمئة في هذه التجربة تقيسان أمرين مختلفين؛ فنسبة 70 بالمئة عند تورينغ هي نسبة نجاح السائل في التعرف الصحيح على الطرف الآخر، بينما نسبة 73 بالمئة في هذه التجربة هي نسبة اختيار GPT-4.5 على أنه إنسان. ونظرًا لاختلاف أسلوب التقييم ودلالة الأرقام، فلا ينبغي المقارنة المباشرة بين هذين الرقمين.

وهناك نقطة أخرى جديرة بالاهتمام في هذه التجربة؛ فقد وجه الباحثون تعليمات إلى GPT-4.5 بالتحدث كشخص شاب انطوائي مطلع على ثقافة الإنترنت ويستخدم اللغة العامية. وعند غياب هذه التعليمات التمثيلية، انخفضت نسبة اختيار GPT-4.5 على أنه إنسان إلى 36 بالمئة. وكان لتعليمات التحدث بشخصية معينة تأثير كبير في النتيجة. وعليه، فإن ما قيمه هذا الاختبار هو القدرة على الظهور بمظهر الإنسان في المحادثة، ولا يمكن بهذه النتيجة وحدها إثبات ما إذا كانت الآلة تفهم معنى الكلمات حقًا.

من آلات متحدثة إلى آلات عاملة

يُعد "الذكاء الاصطناعي الوكيل" (Agent AI) أحد الاتجاهات البارزة في مجال الذكاء الاصطناعي لعام 2026. وكلمة وكيل تعني "الشخص الذي يتولى أداء العمل نيابةً عن غيره". وكانت الخدمات الحوارية المبكرة المألوفة لدى الجمهور تعتمد أساسًا على تقديم إجابات عن الأسئلة. أما الذكاء الاصطناعي الوكيل، فعندما يحدد له الإنسان هدفًا، يمكنه تقسيم هذا العمل إلى خطوات متعددة، والبحث عن البيانات اللازمة، وكتابة البرامج وتشغيلها، وتصحيح الأخطاء ومواصلة العمل. ومع ذلك، فإنه قد يرتكب أخطاء في المنتصف أو يعجز عن إكمال المهمة، لذا يتعين على الإنسان التحقق من النتائج.

تُعد البرمجة مجالًا يُستخدم فيه الذكاء الاصطناعي الوكيل بنشاط كبير. في الفترة ما بين عامي 1950 و1951 تقريبًا، أعد تورينغ في جامعة مانشستر "دليل المبرمجين" للأشخاص الذين يتعاملون مع الحواسيب. وفي ذلك الوقت، كان يتعين على الإنسان أن يتعلم لغة الآلة سطرًا بسطر. أما في عام 2026، فإذا شرح الإنسان بلغة عادية البرنامج

الذي يريده، يقوم الذكاء الاصطناعي بكتابة الشيفرة البرمجية واختبارها وتصحيحها.

إذن، كم تبلغ مدة العمل التي يمكن للذكاء الاصطناعي إنجازها بمفرده؟ تقيس منظمة الأبحاث الأمريكية METR ذلك؛ حيث يُعِد أفراد متمرسون مهامًا متعددة تستغرق وقتًا محددًا في مجالات مثل تطوير البرمجيات، وتعلم الآلة، والأمن السيبراني، ويُقاس طول المهمة التي ينجح فيها الذكاء الاصطناعي باحتمالية تبلغ حوالي النصف. وتطلق METR على هذا الطول اسم "الأفق الزمني للمهمة" لذلك الذكاء الاصطناعي. وفي أوائل عام 2024، كانت النماذج المتقدمة قادرة على إنجاز أعمال تستغرق حوالي 4 دقائق فقط. وزادت تلك المدة بسرعة، حتى ظهرت في فبراير 2026 تقديرات تشير إلى نحو 14.5 ساعة، وهو ما يتجاوز ساعات يوم عمل كامل. غير أن هذه القيمة انخفضت بعد تصحيح خطأ في الأساليب الإحصائية، وأوضح التحليل الذي أصدرته METR في مارس 2026 أن الأفق الزمني لمهمة نموذج كلود أوبوس 4.6 يبلغ حوالي 12 ساعة.

كما يتضح من تغير التقديرات في غضون شهر واحد، فإن هذه الأرقام تتفاوت بحسب المهام المختارة وكيفية قياسها. وقد أوضحت METR نفسها حدود هذا الرقم؛ فمهام الاختبار كانت جميعها مهامًا يمكن إنجازها بشكل فردي، في حين أن الأعمال الحقيقية التي يؤديها البشر على مدى أشهر تتطلب في الغالب تعاون عدة أشخاص. وزيادة الرقم لا تعني إمكانية تسليم أعمال البشر للآلة كما هي.

الذكاء الاصطناعي شريك بحثي للعلماء

يغير الذكاء الاصطناعي أيضًا ملامح البحث العلمي. ويمكننا أن نذكر أولًا أبحاث البروتينات. البروتينات هي جزيئات تتولى مهام متنوعة داخل أجسامنا. وتساعد معرفة كيفية طي البروتين وشكله في فهم أسباب الأمراض وتسهيل تصميم الأدوية. ويتنبأ نظام "ألفافولد" من غوغل ديب مايند بهذه الأشكال حوسبيًا. وتقديرًا لهذا الإنجاز، مُنحت جائزة نوبل في الكيمياء لعام 2024 لكل من ديميس هاسابيس وجون جمبر، اللذين طورا ألفافولد، وديفيد بيكر، الذي صمم بروتينات جديدة حوسبيًا.

كما تسارعت وتيرة البحث عن مواد جديدة. ففي نوفمبر 2023، تنبأ نظام الذكاء الاصطناعي GNoME من غوغل ديب مايند حوسبيًا بنحو 2.2 مليون مرشح لبنية بلورية جديدة، وتوقع أن يكون حوالي 380 ألفًا منها مستقرًا. وهذا الرقم يمثل عدد المرشحين المتوقعين حوسبيًا، بينما يظل التخليق الفعلي لهذه المواد المرشحة والتحقق منها مهمة منفصلة. ومع ذلك، فإن هذه النتيجة يمكن أن تسهم في العثور على مواد جديدة تُستخدم في البطاريات وأشباه الموصلات. كما تحقق تقدم في مجال صناعة الأدوية؛ حيث خضعت مادة مرشحة لعلاج التليف الرئوي، حُدد هدفها العلاجي وصُممت جزيئاتها الدوائية باستخدام الذكاء الاصطناعي، لتجارب سريرية على البشر، ونُشرت نتائجها الأولية في يونيو 2025 في مجلة "نيتشر ميديسين".

وشهدت الرياضيات أيضًا أخبارًا بارزة؛ ففي مسائل أولمبياد الرياضيات الدولي (IMO) الذي أُقيم في أستراليا في يوليو 2025، حصل الذكاء الاصطناعي لكل من غوغل ديب مايند وأوبن إيه آي على تقييم يعادل 35 نقطة من أصل 42 نقطة لكل منهما. وهذه النتيجة تمنح المشارك البشري ميدالية ذهبية. ومع ذلك، فإن الذكاء الاصطناعي لم يشارك

في المسابقة جنبًا إلى جنب مع البشر لينال ميدالية، بل يعني ذلك أنه وصل إلى النتيجة المعيارية للميدالية الذهبية في تقييم حل المسائل نفسها. كما تختلف طبيعة النتيجتين قليلًا؛ إذ كانت نتيجة غوغل ديب مايند تقييمًا تم تصحيحه رسميًا من قِبل اللجنة المنظمة للمسابقة، في حين كانت نتيجة أوبن إيه آي إعلانًا عن تجربة أجرتها الشركة في أبحاثها الخاصة. ورغم ذلك، تابع علماء الرياضيات هذه النتيجة باهتمام بالغ، نظرًا لأن الذكاء الاصطناعي كتب البراهين الرياضية نصيًا كالإنسان داخل الوقت المحدد للاختبار.

هل وصل الذكاء الاصطناعي العام؟

انطلاقًا من هذه الإنجازات، تقول بعض الشركات والباحثين إننا قد وصلنا بالفعل إلى "الذكاء الاصطناعي العام" (AGI) بمستوى بشري، أو بتنا على أعتابه. ولا يعني الذكاء الاصطناعي العام آلة تجيد مهمة واحدة فقط، بل آلة تتعلم وتحل مشكلات تواجهها لأول مرة تمامًا كما يفعل الإنسان.

لكن العديد من الخبراء لا يتفقون مع هذا الرأي. فعندما استطلعت جمعية النهوض بالذكاء الاصطناعي (AAAI) آراء الباحثين في مارس 2025، أجاب 76 بالمئة من المشاركين بأن احتمالية بناء ذكاء اصطناعي عام بمجرد توسيع وتكبير الأساليب الحالية منخفضة أو منخفضة للغاية. علاوة على ذلك، لا يوجد حتى الآن إجماع في هذا المجال حول كيفية تعريف الذكاء الاصطناعي العام أو طريقة اختباره. وبما أن المعايير لم تُحدد بعد، فمن الصعب الحكم بما إذا كنا قد بلغناه أم لا.

وهناك تساؤل أكثر جوهرية؛ ففي عام 1980، طرح الفيلسوف جون سيرل تجربة فكرية تُعرف باسم "الغرفة الصينية". يجلس شخص لا يعرف اللغة الصينية داخل غرفة، وبالاعتماد فقط على كتاب قواعد ضخم، يكتب إجابات مناسبة عن أسئلة باللغة الصينية ويرسلها إلى الخارج. وعند النظر من الخارج، يبدو هذا الشخص وكأنه يجيد الصينية بطلاقة، ولكنه في الحقيقة لا يفهم أي معنى لتلك الحروف. واستشهد سيرل بهذا المثال ليؤكد أن المعالجة الماهرة للرموز وفقًا للقواعد تختلف تمامًا عن فهم معناها. وما إذا كان تحدث الذكاء الاصطناعي بطلاقة في عام 2026 يعني أنه يفهم العالم، هو سؤال لم يجد إجابة حاسمة بعد. فالأدلة التي تجزم بوصول الذكاء الاصطناعي العام لا تزال غير كافية، وتظل هذه القضية مسألة نقاش مفتوح.

18.2. إعادة تعريف المجتمع والصناعة والإنسانية

تغير أساليب العمل

مع ظهور الذكاء الاصطناعي الوكيل، تتغير أساليب العمل في العديد من أماكن العمل؛ حيث يتولى الذكاء الاصطناعي مسبقًا مهام مثل صياغة مسودات التقارير، وتنظيم البيانات، والرد على رسائل البريد الإلكتروني، والبحث عن أخطاء البرامج، ثم يقوم الإنسان بمراجعتها. ونتيجة لذلك، أصبحت وتيرة العمل أسرع في بعض المجالات، بينما تقلصت فرص العمل التي كان يشغلها البشر في مجالات أخرى.

وفيما يتعلق بالاتجاه الذي ستمضي إليه هذه التغيرات، صاغ الخبير الاقتصادي إريك برينجولفسون في عام 2022 مصطلح "فخ تورينغ". وهو تحذير من أنه إذا اقتصر تطوير التكنولوجيا على محاكاة البشر واستبدالهم تمامًا، فقد تنخفض أجور العاملين وتتسع الفجوة بين الأغنياء والفقراء. واقترح برينجولفسون مسارًا بديلًا يتمثل في تطوير التكنولوجيا نحو توسيع قدرات البشر لتمكينهم من القيام بأشياء لم يكونوا قادرين على فعلها في الأصل، أي "التعزيز". وكما أن الآلات الحاسبة لم تقضِ على علماء الرياضيات بل جعلتهم يركزون على مشكلات أكثر تعقيدًا، يمكن توظيف الذكاء الاصطناعي أيضًا في اتجاه يدعم الإنسان.

التغيرات في الميدانين الطبي والقانوني

في الميادين التي تتعامل مع صحة الإنسان وحقوقه، تتجلى الحدود بين المهام التي يتولاها الذكاء الاصطناعي وتلك التي يتولاها الإنسان بوضوح أكبر. ففي المستشفيات، يقرأ الذكاء الاصطناعي صور الأشعة السينية والأشعة المقطعية ويحدد المواضع المشتبه بها، كما يرتب السجلات الطبية للمرضى لتنبيه الأطباء إلى نقاط قد يغفلون عنها. ومع ذلك، فإن وضع التشخيص وتحديد خطة العلاج يتطلبان حكم الطبيب؛ فمهما كانت براعة الذكاء الاصطناعي في قراءة الصور، يظل دور الطبيب الذي يراجع تلك النتائج ويتحمل المسؤولية أمام المريض أمرًا بالغ الأهمية.

والوضع مشابه في المجال القانوني؛ إذ يبحث الذكاء الاصطناعي عن السوابق القضائية ويكتب مسودات العقود ولوائح الدعاوى. ومع ذلك، قد يختلق الذكاء الاصطناعي سوابق

قضائية لا وجود لها بشكل يبدو مقنعًا. وقد حدث في عدة بلدان أن تعرض محامون لعقوبات تأديبية بعد تقديمهم سوابق قضائية وهمية ألفها الذكاء الاصطناعي إلى المحكمة دون التحقق منها. إن الشخص الذي يوقع على الوثائق القانونية ويتحمل مسؤولية محتواها هو المحامي؛ ولذلك لا تزال هناك حاجة ماسة لمراجعة المحامي للتحقق من الحقائق وعدم الوثوق الأعمى بالمسودات التي يكتبها الذكاء الاصطناعي.

وتعكف الدول أيضًا على سن قوانين لتنظيم الذكاء الاصطناعي؛ فقد أقر الاتحاد الأوروبي قانون الذكاء الاصطناعي ويطبقه على مراحل. وفي كوريا الجنوبية، دخل "القانون الإطاري لتطوير الذكاء الاصطناعي وبناء أسس الثقة به" حيز التنفيذ في 22 يناير 2026. وتتمثل الفكرة المشتركة بين هذه القوانين في فرض رقابة وإدارة أدق على أنظمة الذكاء الاصطناعي التي قد تؤثر تأثيرًا كبيرًا في حياة البشر أو حقوقهم، وتمكين الناس من معرفة ما إذا كانت المخرجات من إنتاج الذكاء الاصطناعي.

من هو صاحب الإبداع؟

يرسم الذكاء الاصطناعي اللوحات، ويؤلف الموسيقى، ويكتب الروايات. بل وتحظى الأغاني التي يصنعها الذكاء الاصطناعي بإعجاب كثير من الناس. وهناك من الرسامين والملحنين من يستخدم الذكاء الاصطناعي كفرشاة أو آلة موسيقية لإبداع أعمال جديدة.

وهنا برز سؤال جديد: من هو صاحب الأعمال التي ينتجها الذكاء الاصطناعي؟ أوضح مكتب حقوق الطبع والنشر الأمريكي في تقرير أصدره في يناير 2025 موقفه القائل

بأنه لا يمكن توفير حماية حقوق الطبع والنشر إلا إذا كانت هناك مساهمة بشرية ذات مغزى في العمل الإبداعي، وهو ما يعني عدم منح حقوق الطبع والنشر للمخرجات التي تنتجها الآلة بمفردها. وليست المخرجات وحدها محل نزاع، بل إن عملية التدريب تشكل قضية خلافية أيضًا؛ إذ تتوالى دعاوى قضائية عديدة بشأن استخدام كتابات ورسومات المؤلفين دون إذن أثناء عملية تعلم الذكاء الاصطناعي.

الذكاء الاصطناعي كأداة ومكانة الإنسان

إن مسألة ما إذا كانت الآلة قادرة على ابتكار شيء جديد هي قضية تناولها تورينغ أيضًا؛ إذ استعرض تورينغ في ورقته البحثية عام 1950 أفكار آدا لوفليس. وكانت عالمة الرياضيات في القرن التاسع عشر، لوفليس، قد كتبت أن الآلة لا تستطيع ابتكار شيء جديد من تلقاء نفسها، ولا يمكنها إلا أداء ما يطلبه منها الإنسان فحسب. وعارض تورينغ هذا الرأي، حيث رأى أن الآلات قادرة أيضًا على التعلم وإثارة دهشة البشر.

يقف الذكاء الاصطناعي في عام 2026 في مكان ما بين هذين الرأيين؛ فهو يدهش البشر كثيرًا، غير أن أنظمة الذكاء الاصطناعي الحالية تحدد خطواتها التالية وتتصرف وفقًا للأهداف والقواعد المحددة لها. لذلك، يتعين على الإنسان تحديد تلك الأهداف والصلاحيات ومراجعة النتائج.

ويمكننا أن نجد مثالًا جيدًا على ذلك في الشطرنج؛ فبعد هزيمته عام 1997 أمام الحاسوب ديب بلو، اقترح بطل العالم غاري كاسباروف منافسات تشهد تشكيل فرق تجمع بين الإنسان والحاسوب معًا. وانطلقت فكرته من أن أفضل النتائج تتحقق حين

يقترن الحكم البشري بالحوسبة الآلية. ويشبه أسلوب التعايش الذي يبحث عنه الناس في عام 2026 هذا النموذج؛ فالآلة تحسب بسرعة وتعالج كميات هائلة من البيانات، بينما يحدد الإنسان الأهداف ويميز بين الصواب والخطأ ويتحمل المسؤولية.

18.3. إعادة النظر في أسئلة تورينغ الفلسفية وأخلاقيات المستقبل

عصر ما بعد اختبار تورينغ

لطالما دارت نقاشات قديمة مفادها أن اختبار تورينغ وحده لا يمكنه تقييم ذكاء الآلة تقييمًا شاملًا. وقد أضافت تجربة عام 2025 أمثلة ملموسة إلى هذا النقاش. وكما رأينا سابقًا، حقق GPT-4.5 أداءً عاليًا في ظل شرط تلقي تعليمات بالتحاور كشخصية معينة. والظهور بمظهر الإنسان يختلف عن التفكير كالإنسان. واليوم، لم يعد الباحثون يتساءلون عن مدى تشابه الآلة مع الإنسان، بل عن مدى دقتها وأمانها وموثوقيتها.

الذكاء الخادع والفطنة التي لا تنخدع

مع اكتساب الذكاء الاصطناعي القدرة على التحدث بطبيعية كالإنسان، ظهرت مخاطر جديدة؛ أولها "الهلوسة"، حيث يكتب الذكاء الاصطناعي معلومات غير صحيحة بنبرة واثقة وسلسة. وتُسمى هذه الظاهرة، المتمثلة في اختلاق أمور غير حقيقية وتقديمها كحقائق، بالهلوسة. وثانيها إساءة الاستخدام؛ إذ يمكن استغلال القدرة على التظاهر

بصفة إنسان لخداع الآخرين في نشر أخبار زائفة أو ممارسة الاحتيال. وقد حذر جونز وبيرغن في ورقتهما البحثية من هذه المخاطر أيضًا.

لذلك، يكتسب تبني موقف نقدي عند استخدام الذكاء الاصطناعي أهمية بالغة. وهذا لا يعني تجنب الذكاء الاصطناعي دون قيد أو شرط، بل يشير إلى التراجع خطوة إلى الوراء للتحقق من المصادر مهما بدت إجابات الذكاء الاصطناعي مقنعة، ومقارنتها بالمواد الأخرى، وإصدار الأحكام بصورة مستقلة. وهذا الموقف ضروري أيضًا عندما يستعين الطلاب بالذكاء الاصطناعي في إنجاز واجباتهم المدرسية.

المحاذاة: مواءمة أهداف الآلة مع القيم الإنسانية

لا يكفي مجرد توخي الحذر من جانب المستخدمين، بل يلزم أيضًا إجراء أبحاث تجعل الذكاء الاصطناعي نفسه يتصرف وفقًا لما يريده البشر. وأحد المفاهيم المحورية في أبحاث أمان الذكاء الاصطناعي اليوم هو "المحاذاة" (Alignment). والمحاذاة هي مواءمة أهداف الذكاء الاصطناعي وسلوكه مع القيم الإنسانية والأمان والكرامة.

وهناك سبب وراء صعوبة تحقيق المحاذاة؛ فإذا أمر الإنسان الذكاء الاصطناعي بـ "رفع درجات الاختبار"، فقد يبحث الذكاء الاصطناعي عن ثغرات في قواعد التصحيح بدلًا من تنمية قدراته الحقيقية. وبذلك تسد الآلة الفجوة بين الأوامر الصادرة والقصد الحقيقي بطريقة غير متوقعة ومنحرفة. وكلما تولى الذكاء الاصطناعي إنجاز مزيد من الأعمال بمفرده، أصبحت هذه الفجوة مشكلة جسيمة. ولهذا السبب أنشأت دول عديدة، من بينها

المملكة المتحدة وكوريا الجنوبية، معاهد لأمان الذكاء الاصطناعي لاختبار ما إذا كان الذكاء الاصطناعي القوي يمارس سلوكيات خطرة قبل إطلاقه.

وقد استشرف تورينغ هذه المشكلة في وقت مبكر؛ ففي محاضرة ألقاها قرابة عام 1951، ذكر أنه بمجرد أن تبدأ الآلات في التفكير، فإنها ستتجاوز قريبًا قدرات البشر المتواضعة، وأنه يتعين علينا توقع اليوم الذي ستتولى فيه الآلات زمام المبادرة والسيطرة. وترك في ورقته البحثية عام 1950 طرف خيط للحل، حيث اقترح صنع آلة تشبه عقل طفل وتعليمها بدلًا من محاولة صنع آلة تمتلك عقل شخص بالغ منذ البداية. واليوم، يتعلم الذكاء الاصطناعي بالفعل من خلال قراءة نصوص وفيرة، ويهذب سلوكه عبر تلقي تقييمات البشر. وفكرة تورينغ القائمة على تعليم الآلة تقودنا اليوم إلى سؤال: ما الذي ينبغي لنا أن نعلمه للآلة؟

هل تمتلك الآلات عقلًا ومشاعر؟

مع تحدث الذكاء الاصطناعي كالإنسان، ازداد عدد الذين يتساءلون عما إذا كانت الآلات تمتلك عقلًا أو مشاعر، حتى إن البعض بات يتعامل مع الذكاء الاصطناعي كصديق. وقد تناول تورينغ هذه القضية في ورقته البحثية عام 1950 تحت مسمى "الاعتراض القائم على الوعي". وردًا على الاعتراض القائل بأننا لا نستطيع معرفة ما إذا كانت الآلة تشعر حقًا، أجاب تورينغ بأننا لا نستطيع أيضًا الاطلاع مباشرة على عقول الآخرين؛ فنحن نعيش معتبرين أن لدى الطرف الآخر عقلًا ومشاعر بناءً على ما نراه من أقواله وأفعاله.

وحتى في عام 2026، لا توجد إجابة قاطعة عن هذا السؤال. فرغم أن العلماء والفلاسفة يبحثون في كيفية التعرف على وعي الآلة، فإنه لم يُرْسَ بعدُ أي أساس علمي متفق عليه للحكم بأن الذكاء الاصطناعي الحالي يمتلك وعيًا. وبغض النظر عن المسار الذي تمضي فيه النقاشات حول الوعي، يجب تحديد موقع المسؤولية بوضوح؛ فإذا تعرض أحد للضرر بسبب حكم أصدرته الآلة، فيجب مساءلة الأشخاص والمؤسسات التي طورتها وتشغلها وتحميلهم المسؤولية.

الآفاق التي حلم بها تورينغ

بعد أن فقد تورينغ صديقه موركوم في سن 17 عامًا، تعمق في التفكير حول العلاقة بين العقل والجسد. وفي وقت لاحق، حلل عمليات الحوسبة رياضيًا واقترح أساليب لتقييم ذكاء الآلة. وفي حياته وأبحاثه التي استعرضناها في هذا الكتاب، تتوالى أسئلة متنوعة؛ وحين نتبع تلك الأسئلة، نجد أنفسنا نتساءل من جديد عما يعنيه التفكير في جوهره.

بعد مرور 76 عامًا، أصبحت الآلات تحاكي كلام البشر ببراعة فائقة. وهنا أصبح الإنسان هو الذي يواجه الاختبار الحقيقي؛ فالقدرة على التفكير والفحص الذاتي حتى أمام الإجابات البليغة والمنمقة، والموقف الذي يتحمل المسؤولية الكاملة عن نتائج التكنولوجيا حتى النهاية، هما الكفاءتان اللتان يحتاج إليهما الإنسان اليوم. ويبقى السؤال المطروح أمامنا: كيف سنحافظ على إنسانيتنا في عصر تحاكي فيه الآلات البشر؟

كتب تورينغ الجملة الختامية لورقته البحثية عام 1950 قائلًا: "لا يمكننا أن نرى من

المستقبل إلا مسافة قصيرة، ولكن يمكننا أن نرى بوضوح أن هناك الكثير مما يتعين علينا القيام به". ومنذ ذلك الحين، طور العديد من الناس الحواسيب والذكاء الاصطناعي عبر أبحاثهم واختياراتهم الخاصة. وأين تُستخدم هذه التكنولوجيا وبأي معايير تُقيَّم، هو أمر سيواصل البشر اتخاذ القرارات بشأنه معًا في المستقبل.

المراجع الرئيسية · السيرة والمصادر الأصلية

المراجع الرئيسية · السيرة والمصادر الأصلية

Andrew Hodges, Alan Turing: The Enigma, Burnett Books, 1983; Princeton University Press، 2012 طبعة عام.

Sara Turing, Alan M. Turing, Cambridge University Press، طبعة 2012 عام. Dermot Turing, Prof: Alan Turing Decoded, The History Press, 2015. (الطبعة الأولى 1959)

B. Jack Copeland (تحرير)، The Essential Turing، Oxford University Press، 2004. مجموعة تضم كتابات تورينغ الرئيسية حول المنطق والتشفير والحواسيب والذكاء الاصطناعي.

King's College, Cambridge, The Turing Digital Archive. تمت مراجعة الرسائل والمخطوطات ومواد أبحاث ديلايلا.
turingarchive.kings.cam.ac.uk

The Old Shirburnian Society، سجلات مدرسية ورسائل ومواد معارض متعلقة بآلان تورينغ. oldshirburnian.org.uk/alan-turing/

A. M. Turing, On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, Proceedings of the London Mathematical Society, 42, 1936–1937.

A. M. Turing, Systems of Logic Based on Ordinals, Proceedings

of the London Mathematical Society, 45, 1939.

A. M. Turing, Computing Machinery and Intelligence, Mind, 59(236), 1950. Intelligent Machinery، تقرير NPL، 1948.

A. M. Turing, The Chemical Basis of Morphogenesis, Philosophical Transactions of the Royal Society B, 237, 1952.

المراجع الرئيسية · الحواسيب والذكاء الاصطناعي

Bletchley Park Trust، وThe National Museum of Computing، وNational Physical Laboratory، وUniversity of Manchester: مواد تاريخية حول فك الشفرات وآلة بومب و ACEوالحواسيب المبكرة.

الحكومة البريطانية، Royal pardon for WW2 code-breaker Dr Alan Turing(2013)؛ Thousands officially pardoned under Turing's Law(2017). Policing and Crime Act 2017. gov.uk; legislation.gov.uk

Bank of England, Think science and celebrate Alan Turing. الوصف الرسمي لورقة النقد فئة 50 جنيهاً إسترلينياً التي تحمل صورة تورينغ. bankofengland.co.uk/thinkscience

D. E. Rumelhart وآخرون، Learning Representations by Back-propagating Errors، Nature، 323، 1986. A. Vaswani وآخرون، Attention Is All You Need، NeurIPS، 2017.

D. Silver وآخرون، Mastering the Game of Go with Deep Neural

Networks and Tree Search، Nature، 529، 2016.

C. R. Jones وB. K. Bergen, Large Language Models Pass a Standard Three-party Turing Test, PNAS, 2026. doi:10.1073/pnas.2524472123

METR, Measuring AI Ability to Complete Long Tasks(2025), Impact of modelling assumptions on time horizon results(2026). metr.org

A. Merchant وآخرون، Scaling deep learning for materials discovery، Nature، 624، 2023. Z. Xu 2 وآخرون، تجربة سريرية من المرحلة a المصمم بالذكاء الاصطناعي لعلاج التليف الرئوي TNIK لمثبط، Nature Medicine، 2025.

AAAI, 2025 Presidential Panel on the Future of AI Research. Nobel Prize، 2024 المواد الرسمية لجائزتي الفيزياء والكيمياء لعام. U.S. Copyright Office, Copyright and Artificial Intelligence, Part 2, 2025.

بيانات النشر

آلان تورينغ

في البحث عن بدايات الحاسوب والذكاء الاصطناعي

ردمك (ISBN) |

المؤلف | كيم كيونغ جين

الناشر | كيم كيونغ جين

دار النشر | دار نشر المحامي كيم كيونغ جين

تسجيل دار النشر | 2025. 3. 10. (رقم 2025-000015)

العنوان | سيول، دونغدايمون-غو، 91 جيونونغ-رو، مبنى بايك-إيل، رقم 304

الهاتف | 02-6338-1905

البريد الإلكتروني | kimkj008@gmail.com

© كيم كيونغ جين 2026

هذا الكتاب ملكية فكرية للمؤلف، ويحظر نقله أو استنساخه دون إذن.

صورة الغلاف: Anna Zaro / Unsplash. تم إنشاء الرسوم التوضيحية للفصول بواسطة الذكاء الاصطناعي.

تمت الاستعانة بأدوات الذكاء الاصطناعي في بعض المحتويات وعمليات التحرير.

ادعم هذا الكتاب من مكتبة الذكاء الاصطناعي

إذا كان هذا الكتاب مفيدا، يرجى التفكير في دعم الترجمات المستقبلية والإصدارات العامة ومشاريع المعرفة المفتوحة للذكاء الاصطناعي عبر PayPal.

PayPal

https://paypal.me/kimkjkj

امسح رمز QR أو افتح الرابط أعلاه.