٢٩

نموذج الاستديو:
الاستجابة للتحديات بسبب اتساع كمية الالتحاق
تدريس العلوم الكمي

كارين كامينغس Karen Cummings

يلتحق تقريباً ١٠٠٠ طالب كل سنة في دراسة مقرر الفيزياء التمهيدي الذي يعتمد على التفاضل والتكامل في معهد رنسلر بوليتكنيك *Rensselaer Poly-technic Institute* ***ويلتحق نفس العدد تقريباً إما في دراسة مقر الكيمياء التمهيدي أو في علم المواد. إن التحاقات بهذا الحجم تؤدي إلى اعتبارات فعالية فريدة. وثمة مقاربة واحدة للتغلب على هذه الحواجز وهي طريقة الاستديو التي نناقشها في هذا الفصل.***

هناك وعي وطني متنامٍ بالتحديات التي تؤثر في أداء تدريس عالي الجودة للعلوم. إن تطوير مهارات كمية لحل المشكلات وهو مرمى أساسي لتدريس العلوم يتطلب مستويات هامة من التزام الأساتذة وجهدهم. بالإضافة إلى ذلك عندما يكون على مئات الطلاب أن ينهمكوا في تجارب المعمل كل أسبوع فإن المهمات الإمدادية (اللوجستيه) والإدارية تصبح غاية في الصعوبة للقيام بها.

في أوائل التسعينيات وفي معهد رينسلير للبوليتكنيك كانت الموارد وشؤون الإدارة المالية تتعارض مع نمو اهتمام الأساتذة فيما يخص الحاجة إلى تزويد

تجارب تعليمية ذات جودة. وفي الوقت نفسه كانت التكنولوجيات التعليمية تغير طبيعة ما يمكن فعله في غرفة الصف وكانت الفلسفة التعليمية لمذهب البنائية والتعلم المتعاون Construtivism and Collaborative learning يستمتعان بنهضة ملحوظة. وكان نداء صنع الكثير من القليل وزيادة الإنتاجية التعليمية والجودة في الوقت نفسه يعبر عنها بصوت عال ووضوح. وكان الجواب في رنسلر Rensselar إدخالنا ستوديو مقررات العلوم (Wilson 1994).

كان نموذج الاستديو في رنسلر Rensselar يقوم على برنامج ورشة عمل في الفيزياء طورتها بريسيللا لوس Pirscilla Laws ومعاونوها في كلية ديكنسون Dickinson College (2004). ومع ذلك فقد عم جو من التفاؤل باستعمال ورشة العمل في الفيزياء في مناخ للفنون الحرة ونظر إليها بشكل عام على أن تكون أيضاً المورد الكثيف لالتحاق واسع في مقررات في الجامعة. عام ١٩٩٣ أدخلت مقررات الاستديو الأولى إلى رنسلر Ranssalaer. وبسرعة غيرت مقاربة الاستديو طبيعة التدريس في مقررات عبر الجامعة في رنسلر وأخيراً في مؤسسات حول العالم.

إن جميع المقررات التمهيدية في الفيزياء كانت تدرس في رنسلر في نموذج استديو. والصفات المحددة لهذه المقررات هي:

- جلسات في الصف تكامل المحاضرة وتجربة المعمل وممارسة مهارات حل المشكلات.
- تعزيز التكنولوجيا في الصف ذاته الممثل بوضع كومبيوتر لكل ثلاثة طلاب ويستعمل هذا في جميع وجوه المقرر.
- يعمل الطلاب متعاونين على مهمات داخل الصف والمستويات العالية في التفاعلات بين الأساتذة والطلاب وبين الطلاب والطلاب هي السمات المميزة في ثقافة الصف.

- حجم الصف محدد بـ ٥٠ طالباً.
- كل صف يدرسه أستاذ بمساعدة طالب دراسات عليا واحد وطالب دراسة جامعية واحد.
- الجلسات الصيفية تدوم ١١٠ دقيقة وتعقد مرتين في الأسبوع.
- وضعت علاوة (مكافأة) لاستعمال وقت الصف بشكل ناجع بهدف أن تغطي كمية من مادة مقرر الفيزياء التمهيدي مساوية لتلك المغطاة بالطريقة التلقليدية التي يستغرق وقت الاجتماع فيها ٣٠٠ دقيقة تقريباً كل أسبوع.

في الدقائق ١١٠ النموذجية من صف الاستديو يخصص ٣٠ دقيقة للعمل على مشكلات عند جماعات متجانسة أكاديمياً (الذين عُينوا وتعاقبوا على أسس نظامية). أثناء هذا الوقت يُتّبع نموذج تعلم المهنة الإدراكي وفيه يبين الأستاذ كيفية حل المشكلات بشكل نموذجي ويقوم بالتوجيه في حين يحاول الطلاب تجربة مهاراتهم بطريقتهم الخاصة، ثم يخبو ذلك بالتدريج حتى حده الأدنى. هذه المقاربة في تعليم حل المشكلات تقوم بشكل واسع على تقنيات حل المشكلات لدى جماعة متعاونة (Heller and Hollabaugh, 1992, Heller Keith and Anderson,1992).

تخصص الـ ٢٠ دقيقة التالية في الصف لمحاضرة قصيرة تتم مع أهم العلاقات والاشتقاقات والتعريفات. وتقدم المحاضرات باستعمال عرض البوربوينت Power Point ويشترك في العروض نفسها أعضاء هيئة تدريس متنوعين يدرسون شعباً من المقرر.

أما الدقائق الـ ٦٥ في وقت الصف فيعمل الطلاب فيها بتعاون على ما هو موجود بين أيديهم من النشاطات. وعلى خلاف معمل الفيزياء التقليدي فإن هذه النشاطات مخططة للتحقق من معرفة الطالب. بل إنها تقوم على تحرٍ للتجارب التعليمية. وهي تغطي نفس الموضوعات الموجودة في المعامل التقليدية

(التسارع بسبب الجاذبية مثلاً) إلا أن نشاطات استديو الفيزياء لا تفرض إجراء القياس. بل إن مواد الاستديو تقوم على فكرتين بنّاءتين: ينبغي أن يفكر الطلاب ويتأملوا فهمهم من أجل أن يتعلموا، وان الطلاب يأتون إلى صفوفنا مع معتقدات موجودة لديهم حول الموضوع. ومع هاتين الفكرتين في جوهرهما، تستعمل مواد استديو الفيزياء مقياساً توقعياً عاكساً لنموذج دورة التعلّم.

استعمال التكنولوجيا

معظم أعضاء هيئة التدريس الذين يعملون ضمن مقررات استديو الفيزياء في رينسلر يعتقدون أن استعمال نظام الواجب المنزلي على الشبكة يلعب دوراً مهماً في تحسين نجاعة المقرر. ومع أنه يوجد العديد من النظم التي تقوم على الشبكة وهي مستعملة على نطاق واسع فإن رنسلر تستعمل حالياً web Assign (http: // Webassign . net) يُستعمل هذا النظام رغبة في الاختصار في اختبارات الصف القصيرة وفي الواجبات المنزلية وفي وضع الدرجات. إنه يتيح لمنسق المقرر أن يحّول المشكلات إلى كتاب مدرسي لكي يناسب بشكل أفضل جمهور الطلاب في المقرر ولكي يستجيب لأحوال الصف الخاصة حين يكون ذلك ضرورياً. يوزع النظام مشكلات وواجبات منزلية مشخصة على مئات الطلاب الذين يدخلون حلاً عددياً للمشكلات ويتلقون تقديراً آنياً لأجوبتهم من أجل التصحيح. ويسجل النظام درجات الطلاب وأجوبتهم لكل الطلبات المتعلقة بالمشكلات كلها. وأخيراً إنه يولد مختصرات إحصائية يستطيع أن يستعملها المدرسون ومنسق المقرر لتقدير تقدم الطلاب الفردي أو تقدم الصف ككل. وهذه المعلومة حاسمة في التحاق كبير في المقررات إذ كان على خطة التدريس أن تستجيب للحاجات الراهنة للطلاب في الصف.

إن نظام الواجب المنزلي الذي يقوم على الشبكة يستخدم أيضاً في مقرر استديو الفيزياء في اختبارات الصف القصيرة التي تتم لمدة خمس دقائق في نهاية كل درس في الصف. هذه الاختبارات القصيرة تقدم للطلاب معلومات في

الوقت المناسب فيما يخص إلى أي مدى جيد فهموا النقاط الرئيسة ذلك اليوم. ومثلها مثل الواجبات المنزلية فإن هذه البيانات عن أداء الطالب في تلك الاختبارات جميعها تكون في متناول منسق المقرر والأساتذة في وقت فعلي، مما يتيح لمنسق المقرر أن يكيف التدريس استجابة لأية صعوبات قد تكون في الصف.

وتحت هذا النظام لم يعد طلاب الدراسات العليا مسؤولين عن تصحيح الواجبات المنزلية. ونتيجة لذلك فإن الوقت في برامجهم الذي كان حراً أصبح الآن موجهاً نحو تدريب إضافي ونحو أداء المهمات التي لا يستطيعها الكومبيوتر (على سبيل المثال تركيب الأجهزة من أجل نشاطات الصف).

إن مجموعة البيانات القائمة على الكومبيوتر في تجارب المعمل هي مساهمة بارزة أخرى لتحسين الإنتاجية في صفوف نموذج الاستديو. إن مجموعة البيانات القائمة على الكومبيوتر وأدوات العرض تستعمل لإجراء قياسات المعمل بسرعة ودقة معززتين بشكل كبير. ونشاطات المعمل التي استغرقت ذات مرة ٣٥ دقيقة في أوضاع بدون كومبيوتر تستغرق الآن أقل من دقيقة من وقت الصف . والنتيجة هي أن الطلاب يستطيعون أن يقوموا بالعديد من القياسات الدقيقة في فترة درس واحد في الصف. هذه النظم هي أدوات مرنة وتتيح تعلماً بتوجه ذاتي حتى في مناخات ذات وقت مقيد جداً. بالإضافة إلى ذلك هناك مؤشرات على أن الوقت الفعلي لعرض البيانات (تغذية راجعة مباشرة) وأنه مفيد جداً للطلاب. إذ يتعلمون كيف يربطون التمثيلات البيانية بالحالات الفيزيائية. إن اكتساب البيانات القائم على الكومبيوتر يتيح للطلاب أن يأخذوا في الاعتبار مدى أوسع من الحالات التي تتصل بظاهرة مفردة. ويزعم بعض الخبراء أن اعتبار مدى من الحالات هو وجه مهم للتعلم من أجل تعميم وتحويل أشكال فهم الإنسان (thornton and sokoloff, 1990).

الإنتاجية التعليمية

لما كان حوالي ١٠٠٠ طالب يأخذ دروساً تمهيدية في الفيزياء في رينسلر كل عام فإن مقررات الفيزياء I والفيزياء II انقسمت إلى مايعادل تقريباً ٢٠ شعبة صف تعلم من قبل حوالي ١٠ أساتذة مختلفين و٢٠ مساعداً في التدريس. ومع ذلك فإن جميع الطلاب الملتحقين في المقرر في فصل دراسي مفترض يتابعون منهج البحث نفسه، ويكلفون بالواجبات المنزلية ذاتها ويأخذون الامتحانات العامة كمجموعة واحدة في الامتحانات النهائية وأثناء الفصل. وتتضمن رزمة المقرر الموحدة محاضرات يومية على البوربوينت، ونشاطات داخل الصف مع حلول، وواجبات منزلية مع حلول، وواجبات قراءة يزود بها منسق المقرر ليستعملها جميع المدرسين ومنسق المقرر هو أيضاً مسؤول عن تهيئة الامتحان.

إن حافز النموذج الإداري لمنسق المقرر في استديو الفيزياء في رينسلر هو مزدوج. الأول انه ينقص إلى حد بعيد المدة الإجمالية لوقت الأساتذة المخصص للتدريس في مقرر الاستديو وذلك بإنقاص غزارة الجهود لتهيئة الصف. والثاني أنه يحافظ على اتساق المادة التي يدرسها مدرسون مختلفون. إن اللقاءات الأسبوعية لجميع مدرسي المقرر تؤدي إلى شعور بالتملك لأولئك الأساتذة الذين لا يعملون منسقي مقررات. ففي هذه اللقاءات يستخلص أعضاء هيئة التدريس أحداث الأسبوع ويقترحون وجوه المقرر الذي يعمل خاصة بشكل جيد أو الذي ينبغي تحسينه. ويتولى منسق المقرر أسبوعياً جلسات تدريب لمساعدي التدريس أيضاً.

في عام ١٩٩٩ تمت دراسة داخلية في رنسيلر لمقارنة تكاليف استديو الفيزياء بالتدريس السابق للمقرر (بطريقة تقليدية أكثر). ووُجد أن كلفة التدريس بطريقة بناء المقرر تقليدياً هي حوالي ٢٢٥ دولاراً (بسعر الدولار عام ١٩٩٩) على الطالب الواحد وفي فصل واحد. وكلفة التدريس في استديو الفيزياء كانت حوالي ٣٠٠ دولاراً مع ٥٠ طالباً في الشعبة (O, Hara 1999).

يتوقف التوفير في نموذج الاستديو للتدريس على عدد الطلاب الملتحقين في كل شعبة. ونحن في رينسيلر راغبون أن نوازن الزيادة القليلة في الكلفة مع الفوائد المتراكمة من صف صغير الحجم. معظم المؤسسات التي تستعمل نموذج الاستديو، بما فيها جامعة نورث كارولاينا ومعهد MIT تجعل الصف الأكبر من ٥٠ طالباً من أجل أن تنقص تكاليف هيئة العمل. في جامعة نورث كارولاينا يبلغ حجم الصف ٨٠ طالباً ونموذج التدريس يدعى (Scale UP) أي النشاطات المركزة على الطالب للالتحاق الواسع في مقرر الفيزياء الجامعي (Beichner, 1999). وفي معهد MIT يبلغ عدد الصف ١٢٠ طالباً ويدعى نموذج التعليم (التعلم الفعّال المدعم بالتكنولوجيا) (Blcher 2003). لا يوجد معلومات عن الكلفة حالياً في برامج هاتين المؤسستين، وقد ساعدت المؤسسة الوطنية للعلوم قسم تعليم الدراسة الجامعية على تمويل تكاليف الشروع في مقررات الاستديو في جميع هذه المؤسسات.

تقدير النتائج

يستعمل في كل أرجاء البلاد أساتذة الفيزياء امتحانات الخيارات المتعددة مثل: FCI (Force concept inventory) (Hestenes, Wells and schwackhamer 1992) FMCE (Force and Motion Conceptual Exam) (Thornton and sokoloff 1998) وذلك لقياس فهم الطالب للموضوعات المتعلقة بالميكانيكا وتتمثل الممارسة القياسية في أن يتم إجراء التقدير نفسه مرتين، مرة في بداية الفصل ومرة في نهايته. وفي كلتا المناسبتين لا يعلن عن الامتحان. ودرجة الاختبار لا تحسب في درجة الطالب بل إن الطلاب يُخبرون بأنه سيعطى لهم مقداراً قليلاً من درجات النشاط داخل الصف إذا أخذوا الامتحان بجدية. وفي رينسيلر نرقب عملية تقديم الامتحان عن كثب لكي نتأكد من أن الطالب يعمل بضمير حي. ويقاس إنجاز الطالب في الإدراك المفاهيمي بتحسن الدرجة بعد التدريس عما هي قبله.

ويؤخذ بعين الاعتبار أن ١٠٪ من التحسن لطالب عنده ٢٠٪ درجة صحيحة قبل الاختبار ليست بالضرورة مثل ١٠٪ من التحسن لطالب لديه ٩٠٪ درجة صحيحة قبل الاختبار، وقد طُوّر قياس يدعى Fractional gain «ربح ضئيل» أو Normalized gain «ربح سوي» (Hake, 1998). إن الربح الضئيل أو الربح السوي في الإدراك المفاهيمي للطالب<g> يعرف كما يلي:

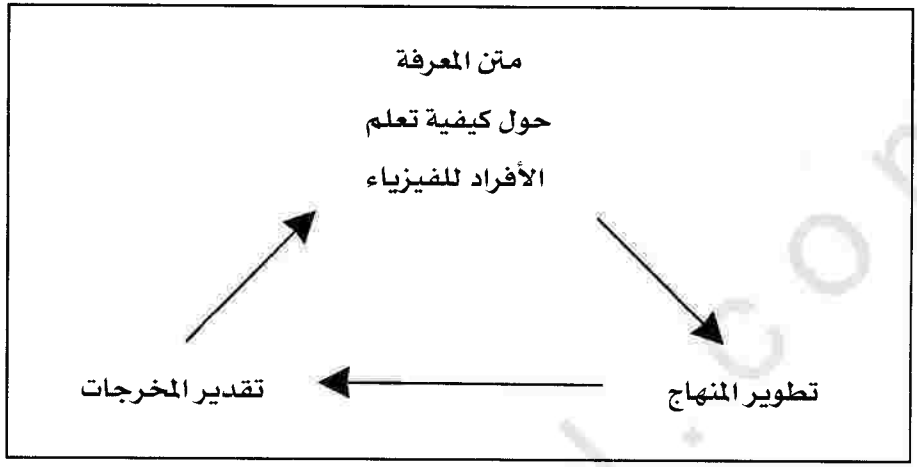
$$<g> = \frac{\%\ \text{Correct Post-instruction} - \%\text{Correct pre-instruction}}{100 - \%\text{Correct pre - intruction}}$$

$$\text{الربح الضئيل أو السنوي} = \frac{\text{٪ صحيح بعد التعلم ـ ٪ صحيح قبل التعلم}}{\text{١٠٠ ـ ٪ صحيح قبل التعلم}}$$

وما يخص تقويم النتائج في مقررات استديو الفيزياء فلسفة يسميها العديد: «اتخاذ طريقة عملية لتحسين نتائج التعلم» (MC Dermott and shaffer, 1992). وهذه المقاربة المرسومة في الشكل ٢٩ـ١ هي من «مشاعر داخلية» لدى المدرس حول ماذا فهم الطلاب وماذا الذي لم يفهموه وما هي أفضل طريقة لتدريسهم، وهذه المشاعر تثرى إلى حد كبير من خلال النظر في البحث التعليمي وجمع تقدير البيانات بعناية. وكانت هذه المقاربة في تحسن المنهاج حاسمة في تحسين نجاعة مقررات استديو الفيزياء في رينسيلر.

وكمثل على أهمية هذه التقنية فيما يخص تحسين مخرجات المقرر فكر في التجارب التالية التي أجريت في الأيام المبكرة من مقرر استديو الفيزياء في رينسيلر. كان المرمى من هذا الاستقصاء (ربيع ١٩٩٨) تحديد ما إذا كانت نشاطات الطالب القائمة على البحث التعليمي المجسد في استديو الفيزياء يمكن أن يكون لها تأثير مهم على مكاسب التعلم المفاهيمي. نحن استقصينا مخرجات تعلم الطالب من خلال مقرر استديو الفيزياء في كلا الأمرين مع إدخال أو بدون ذلك كما هو في هاتين التقنيتين:

الشكل ٢٩-١
مقاربة عملية لتحسين تدريس العلوم



البحث التعليمي يعطي شكلاً لتطوير المنهاج. وبدوره يضيف تقدير مخرجات المقرر إلى متن المعرفة فيما يتصل بالتعلم. والنتيجة هي دائرة متنامية من التحسن الذي ينفذ ضمن بنية المقرر.

عروض محاضرات تفاعلية

Interactive Lecture Demonstration (ILD) (sokoloff and thornton 1997)

ومجموعة حلول المشكلات المتعاونة

and Cooperative Group problem sohing (CGPS) (heller and Hollabaugh 1992

Heller, Keith and Anderson, 1992) إن تقنية ILD مرتبطة بقوة بالمقاربات البنائية على حين أن تقنية CGPS تقوم على جماعات التعلم المتعاونة البنيان، وعلى فكرة تعلم المهنة المعرفي كما هو مطبق في مجال حل المشكلة الكمي (Cummings, Marx, thornton and Kuhl, 1999).

في هذا الاستقصاء قسمنا في ربيع ١٩٩٨ استديو شعب فيزياء I إلى صنفين واسعين: «استديو قياسي Standard Studio» و «استديو زائد Studio Plus». وكلاهما كانا يدرسان في نموذج استديو للتعليم. والجماعتان كلتاهما استخدمتا الصفوف نفسها وكانتا تقومان بالواجبات المنزلية نفسها وتتابعان المنهاج نفسه

وتأخذان المحاضرات نفسها وتقدمان الامتحانات نفسها. وكان الفرق الوحيد بين هاتين الجماعتين أن الصفوف القياسية لم تجسدا ILD و CGPS. وكانت صفوف «زائد» يعلمها مدرسون طوروا مخطط المقرر ليضم إما ILD أوCGPS واما كليهما. وكانت نشاطات «زائد» تعطى بالإضافة إلى العمل الذي كان يؤديه الجماعات القياسية حين يسمح الوقت وكانت تستبدل هذا العمل حين الضرورة. وقد قدّرنا أن تضمين هذه النشاطات سينجم عنه زيادة في وقت التدريس بما يقدر بـ ١٪ من أجل ILD وحوالي ٥٪ من أجل CGPS. وأجرينا امتحانين للتشخيص هما:

قائمة مفهوم القوة: The Force Concept Inventory (FCI)

وتقييم مفاهيم القوة والحركة . The Force and Motion Coceptual Evaluation (FMCE)

وتم إجراء الامتحانين لكل طالب قبل التعليم وبعده لكي نحصل على معلومات عن نتائج التعلم. ودعي هذان الامتحانان «الجزء A» و«الجزء B» لرزقة امتحان واحدة.

يبين الشكل ٢٩ـ٢ مقارنة شاملة بين استديو المقياس واستديو زائد والمقررات المبنية بشكل تقليدي. ومُثّل الربح الضئيل بارتفاع كل عمود وهو عامل <g> الذي ناقشناه آنفاً. وفي هذا التحليل أدخلنا في الاعتبار فقط الطلاب الذين كان لديهم درجات قبل الاختيار وبعده (عينات ملائمة). وحُسِب الربح الضئيل بالنسبة لجماعة من الطلاب باستعمال معدل الدرجات بعد الاختبار للجماعة ومعدل الدرجات قبل الاختبار للجماعة. وهذا يُشار إليه بأنه حساب الربح في المعدلين (Cummings, Marx, Thornton and Kuhl 1999).

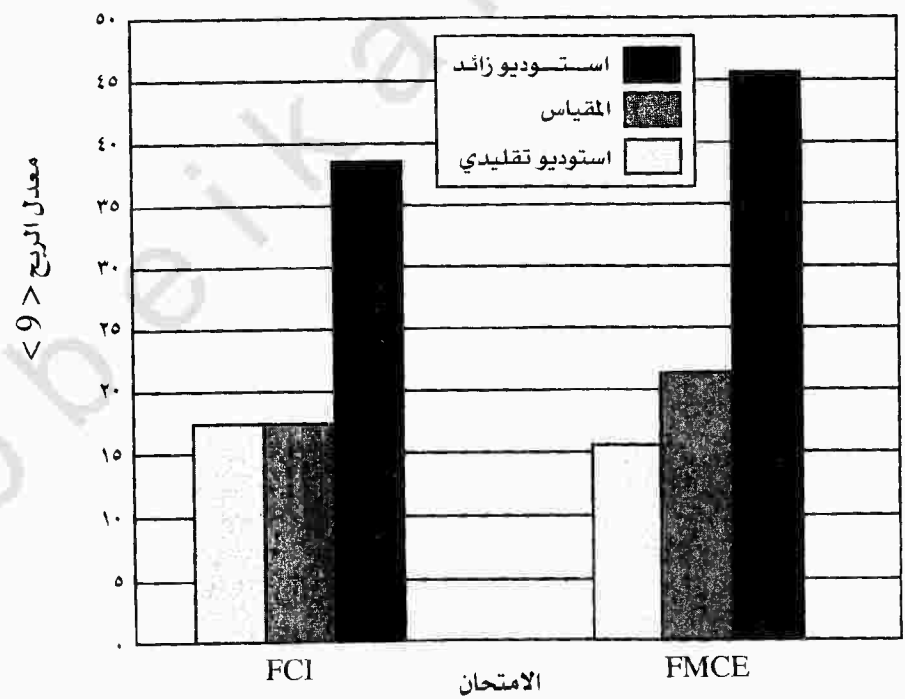
وتقترح نتائج الدراسة أن شكل استديو المقياس وحده لم يعد أنجح في تدريس المفاهيم الأساسية للفيزياء النيوتونية من التعليم التقليدي. وهذه النتيجة هي ذات مغزى كبير بالنسبة لأولئك الذين جل اهتمامهم هو تحسين نتائج التعلم. كان يظهر صف الفيزياء في الاستديو المقياس متفاعلاً وكان الطلاب يبدون ملتزمين بتعلمهم الذاتي. إلا أن شكل هذا الاستديو في حد ذاته (بما في

ذلك إنقاص حجم الصف وزيادة التوكيد على وضع اليد على التعلم وتجسد التكنولوجيا في الصف) كان يبدو أن لا تأثير لهم فيه على درجات التعلم المفاهيمي. ومع ذلك فإن وقت التدريس في مقرر الاستديو نقص إلى حد بعيد بالمقارنة مع البنية التقليدية. ولهذا السبب يمكن أن يستعمل الوقت في مقرر الاستديو بشكل أكثر فعالية ومن جهة أخرى فإن استديو زائد الذي يستعمل ILD و CGPS كان له تأثيرات مفيدة واضحة على نتائج التعلم.

يزود نموذج الاستديو مناخاً تعليمياً وفيزيائياً حيث يمكن للمقاربات والموارد التي أظهرت أنها فعالة في تحسين مخرجات تعلم الطالب أن تنجز بأكثر الأشكال فعالية. الآن وقد أنجزت المواد التعليمية القائمة على البحث ونقحت في مقررات استديو الفيزياء تجاوزت مستويات طلابنا في التعلم إلى حد بعيد الصفوف المبينة تقليدياً (الموجهة بالمحاضرات). هذا صحيح بالنسبة لآلاف الطلاب عبر سنين عديدة من تقدير مجموعة البيانات وعلى طائفة من الموضوعات.

الشكل ٢٩-٢

الربح الضئيل في الفهم في امتحانين تشخيصيين للمفاهيم FCI و FMCE



لا تتضمن شعب استوديو المقياس استعمال مواد منهاج قائمة على البحث في حين أن شعب استوديو زائد تتضمن ذلك.

ملاحظات استنتاجية

من الواضح أن نموذج الاستديو يمثل تحولاً مهماً من النموذج التقليدي لتدريس العلوم في الجامعة الذي كان يركز على جلسات محاضرات واسعة (لحوالي ٢٥٠ من الطلاب) ويتضمن معامل معزولة وجلسات مساعدة Recitaion (حل المشكلة). يقوم نموذج الاستديو بشكل كبير على الاعتقاد بأن تخصيص مقادير كبيرة من وقت الصف للمحاضرة هو غير مجد تماماً للعديد من الطلاب (Hake 1998). والفصل التقليدي لمضامين المقرر يدخل غالباً نقصاً في الاستمرارية فيضيف بذلك عدم جدوى أخرى مرافقة. في نموذج الاستديو يتيح الاتصال المباشر بين المحاضرات والتطبيق للمعرفة المكتسبة حديثاً أثناء نشاط الصف أو مقطع حل مشكلة يتيح تقوية للادراك الواعد تصحيحاً في الوقت المناسب لأشكال سوء الفهم. في آخر تقويم لتجربتي في برنامج استديو الفيزياء في رينسيلر في الفترة بين ١٩٩٧ـ٢٠٠٢ اقتنعت أنا شخصياً بنقاط متعددة. أهمها هو أن المقرر مجد للغاية وان التعلم المفاهيمي للطلاب في المقرر، والذي يبدو ظاهراً فوق ما هو معروف في مقرر الفيزياء التمهيدي القياسي ربما يتحسن أكثر إذا تمت زيادة وقت التعليم إلى أكثر من ٢٢٠ دقيقة في الأسبوع. أنا مقتنعة أيضاً بأنه يوجد تأثيرات إيجابية للمقرر لم تُقس بعد والتي تذهب أبعد من تطوير إدراك مفاهيمي.

المراجع

Beichner, R. (1999). *Student-centered activities for large enrollment university physics (SCALE-UP).* Paper presented at the Sigma Xi Forum on the Reform of Undergraduate Education, Minneapolis, MN.

Belcher, J. (2003). *iCampus, the MIT-Microsoft alliance.* Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology. Retrieved February 19, 2004, from http://web.mit.edu/cet/init/icampus.html

Cummings, K., Marx, J., Thornton, R., & Kuhl, D. (1999). Evaluating innovation in studio physics. *American Journal of Physics, 67*(7), S38–S45.

Dickinson College, Department of Physics. (2004). *Workshop physics homepage.* Carlisle, PA: Author. Retrieved February 19, 2004, from http://physics.dickinson.edu/~wp_web/WP_homepage.html

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics, 66*(1), 64–74.

Heller, P., & Hollabaugh, M. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American Journal of Physics, 60*(7), 637–644 .

Heller, P., Keith, R., & Anderson, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics, 60*(7), 627–636.

Hestenes, D., Wells, M., & Schwackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *Physics Teacher, 30*(3), 141–158.

McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity, Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics, 60*(11), 994–1003.

O'Hara, S. (1999). *The costs of technology intensive education: A preliminary analysis of studio physics at Rensselaer Polytechnic Institute.* Internal document. [Contact cummingsk2@southernct.edu for more information.]

Sokoloff, D., & Thornton, R. (1997). Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *Physics Teacher, 35*(10), 340–347.

Thornton, R., & Sokoloff, D. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics, 58*(9), 858–867.

Thornton, R., & Sokoloff, D. (1998). Assessing student learning of Newton's Laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics, 66*(4), 338–352.

Wilson, J. (1994). The CUPLE physics studio. *Physics Teacher, 32*(12), 518–522.

obeikandl.com