

Lecture Fourteen

Analysis of Weaving, Merging, and Diverging Movements

Weaving, Diverging, and Merging Segments مناطق التماوج، الابتعاد، الإندماج

- ✚ Weaving – one movement must cross the path of another along a length of the facility without the aid of signals or other traffic control devices
مناطق التماوج: هي حركة التماوج للمركبات التي تتقاطع ويؤدي الى عبور مركبة واحدة مسار الأخرى دون مساعدة إشارة المرور أو أجهزة التحكم
- ✚ Merging – two separate traffic streams join to form a single one
مناطق الإندماج: إنضمام تدفق مروري لحركتان منفصلتان ليشكلان مسار واحد
- ✚ Diverging – one traffic stream separates to form two separate traffic streams
مناطق الابتعاد: انفصال تدفق مروري لحركتان مندمجتان ليشكلان مساريين منفصلين
- ✚ Why do we consider these separately from BFS/Multilane Segments?
لماذا نعتبرها منفصلة عن حركة المرور في المقطع الرئيسي للطريق الحر السريع والطريق السريع متعدد الممرات ؟

See Figure 1 for an illustration of weaving, diverging, and merging

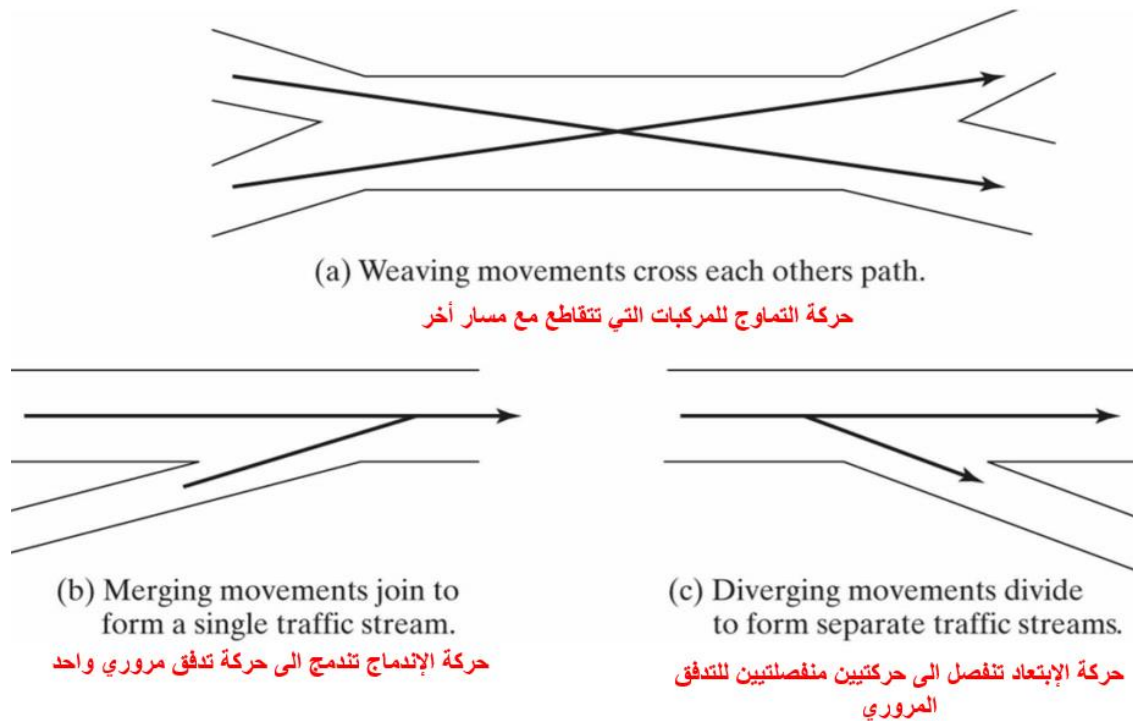


Fig. 1 Weaving, Merging, and Diverging Movements.

LOS for W/M/D Segments مستوى الخدمة لمناطق التماوج، الاندماج، الإبتعاد

مستوى الخدمة Level of Service	مناطق التماوج Weaving Areas		Merge or Diverge Areas
	مناطق الإبتعاد أو الإندماج Density Range (pc/mi/ln)		
	On Freeways	On Multilane Highways or C-D Roadways	On Freeways, Multilane Highways, or C-D Roadways
A	0–10	0–12	0–10
B	>10–20	>12–24	>10–20
C	>20–28	>24–32	>20–28
D	>28–35	>32–36	>28–35
E	>35	>36	>35
F	Demand Exceeds Capacity		

Flows in a Weaving Segment and the Weaving Diagram التدفق في مناطق التماوج ومخطط التماوج موضح في الشكل رقم ٢

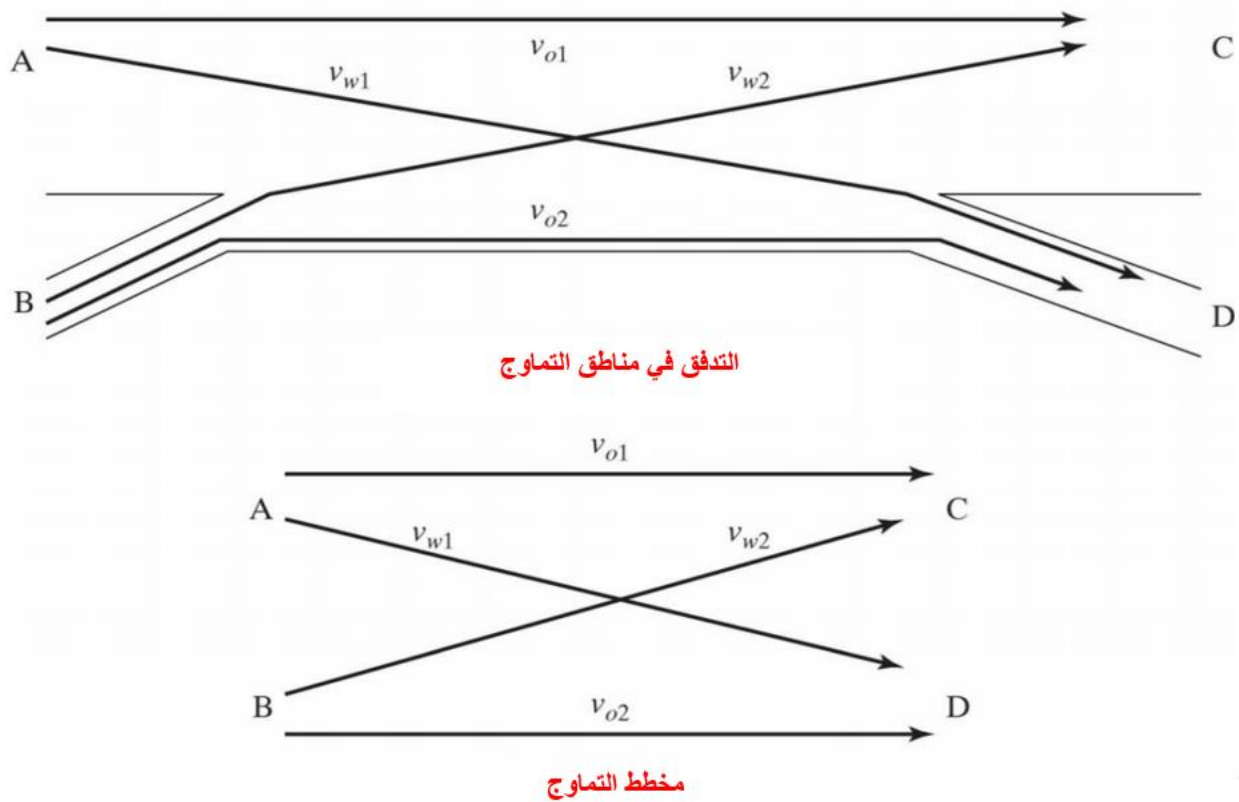


Fig. 2 Flows in a weaving Segment and Weaving Diagram.

Weaving Configurations are shown in Fig. 3 تصنيف التماوج موضح في الشكل رقم ٣

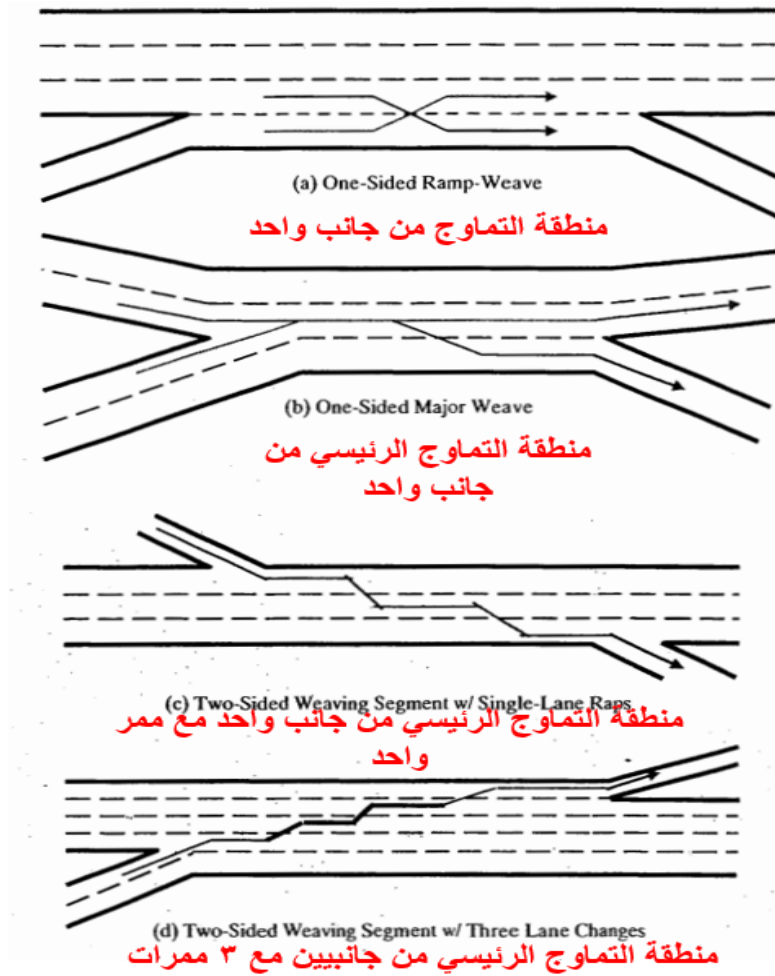
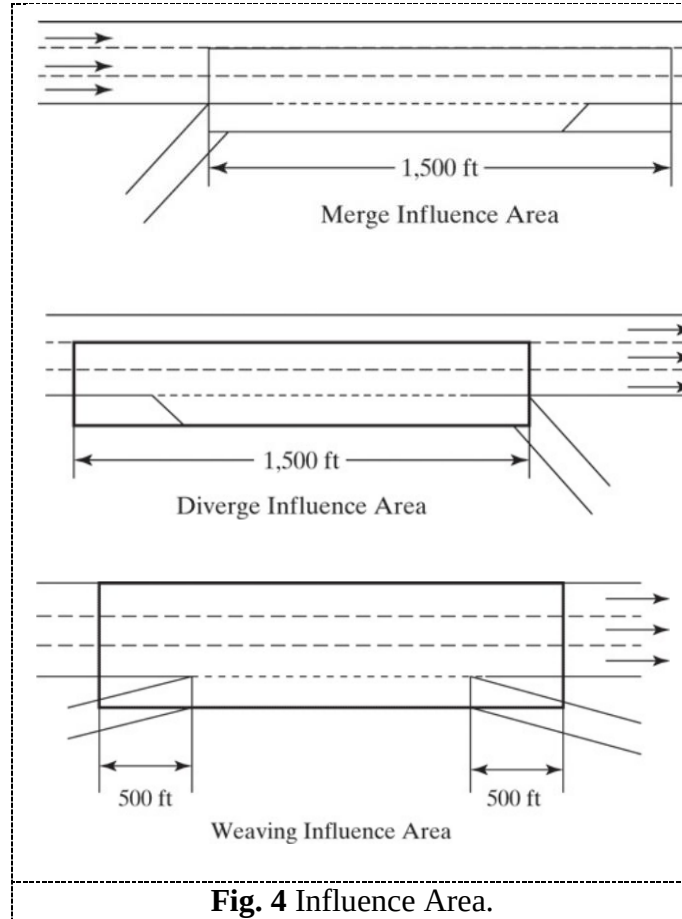


Fig. 3 Weaving Configuration.

Influence Areas for Merge, Diverge, and Weaving Segments

مساحات التأثير لمناطق التماوج والإبتعاد والاندماج موضحة في الشكل رقم ٤



Weaving Analysis-Input Requirements

متطلبات المدخلات في تحليل مناطق التماوج

Existing roadway and traffic conditions are required, including:

- ✚ Length and width of weaving area
- ✚ Number of lanes
- ✚ Type of configuration
- ✚ Terrain/grade conditions
- ✚ FFS
- ✚ Hourly volumes

الظروف المرورية والهندسية الحالية مطلوبة وتشمل الآتي:

- ✚ طول وعرض مساحة التأثير
- ✚ عدد الممرات
- ✚ نوع التشكيل
- ✚ طبيعة التضاريس للطريق والميل
- ✚ سرعة التدفق الحر
- ✚ حجم المرور خلال الساعة

Analysis Steps خطوات التحليل

Step-1: Input Data الخطوة الأولى: بيانات المدخلات

Ensure to write all the input data in one place before analyzing the weaving section



تأكد من كتابة جميع بيانات الإدخال في مكان واحد قبل تحليل مقطع التماوج

Step-2: Determining Flow Rate الخطوة الثانية: حساب معدل التدفق

$$v_i = \frac{V}{PHF * N * f_{HV} * f_p}$$

v_i : Demand flow rate, pc/h, under equivalent based conditions

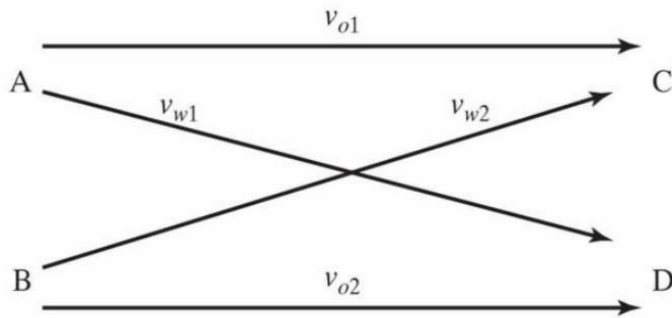
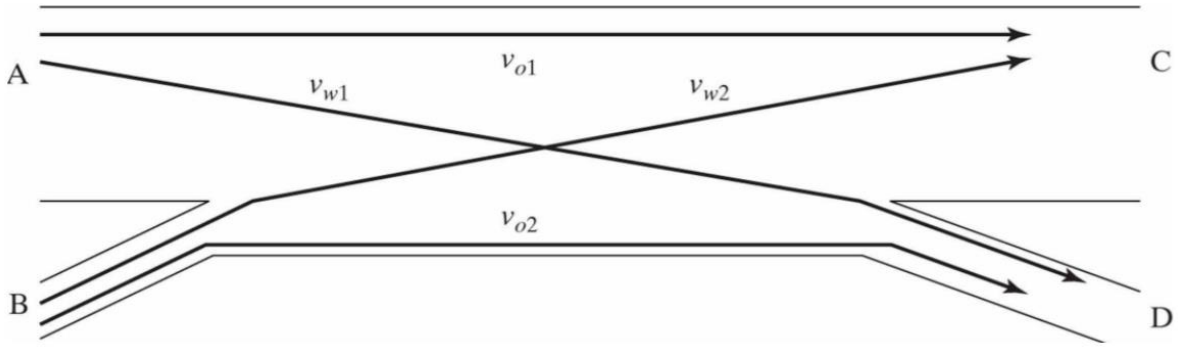
معدل تدفق الطلب بوحدة مركبات صغيرة/ساعة تحت تأثير الظروف الأساسية

V : Demand volume, veh/hr under prevailing conditions حجم الطلب بوحدة مركبات/ساعة تحت تأثير الظروف السائدة

PHF: Peak Hour Factor معامل ساعة الذروة

f_{HV} : Heavy-vehicle adjustment factor معامل مكافئ المركبات الثقيلة

f_p : Driver-population adjustment factor معامل مكافئ تأثير مستخدمي الطريق بصورة منتظمة



v_{o1} : larger outer flow
 v_{o2} : smaller outer flow
 v_{w1} : larger weaving flow
 v_{w2} : smaller weaving flow
 v_w : Total weaving = $v_{w1} + v_{w2}$
 v_{nw} : Total non-weaving = $v_{o1} + v_{o2}$
 V : Total Demand = $v_w + v_{nw}$
 VR : Volume Ratio = v_w / V
 R : Weaving Ratio = v_{w2} / v_w

v_{o1} التدفق المروري الخارجي الأكبر

v_{o2} التدفق المروري الخارجي الأصغر

v_{w1} التدفق المروري التماوج الأكبر

v_{w2} التدفق المروري التماوج الأصغر

$v_w = v_{w1} + v_{w2}$ إجمالي تدفق التماوج

$v_{nw} = v_{o1} + v_{o2}$ إجمالي التدفق غير التماوج

$v = v_w + v_{nw}$ إجمالي التدفق التماوج وغير التماوج

$VR = v_w / v$ نسبة التدفق

$R = v_{w2} / v_w$ نسبة تدفق التماوج

الخطوة الثالثة: تحديد خصائص التشكيل للتماوج **Step-3: Determine Configuration Characteristics**

• One Sided Weaving منطقة التماوج تكون من جانب واحد

- LC_{RF} – minimum number of lane changes that a ramp-to-facility weaving vehicle must make to successfully complete the ramp-to-facility movement.

الحد الأدنى لعدد تغيير الممرات المطلوبة لإتمام حركة التماوج من ذراع الإندماج الى المقطع الرئيسي

- LC_{FR} - minimum # of lane changes that a facility-to-ramp weaving vehicle must make to successfully complete the facility-to-ramp movement.

الحد الأدنى لعدد تغيير الممرات المطلوبة لإتمام حركة التماوج من المقطع الرئيسي للطريق السريع الى ذراع الإبتعاد

- N_{WV} - number of lanes from which a weaving maneuver may be completed with one lane change, or no lane change. عدد الممرات المطلوبة لإكمال حركة التماوج إما تكون ممر واحد أو بدون تغيير ممر.

$$LC_{MIN} = (LC_{FR} \leftrightarrow V_{FR}) + (LC_{RF} \leftrightarrow V_{RF})$$

• Two Sided Weaving منطقة التماوج من جانبيين

- L_{RR} – minimum number of lane changes required for ‘ramp-to-ramp’ movement.

الحد الأدنى لعدد تغيير الممرات المطلوبة لإتمام حركة غير التماوج من ذراع الإندماج الى ذراع الإبتعاد

- $N_{WV}=0$ (only vehicles moving ramp to ramp are considered to be weaving)

عندما يكون عدد الممرات المطلوبة لحركة التماوج مساوي صفر، فقط حركة المركبات من ذراع الإندماج الى ذراع الإبتعاد تعتبر تماوج

$$LC_{MIN} = (LC_{RR} \leftrightarrow v_{RR}) + (LC_{RF} \leftrightarrow v_{RF})$$

LC_{RR} الحد الأدنى لعدد تغيير الممرات المطلوبة لحركة غير التماوج من ذراع الإندماج الى ذراع الإبتعاد

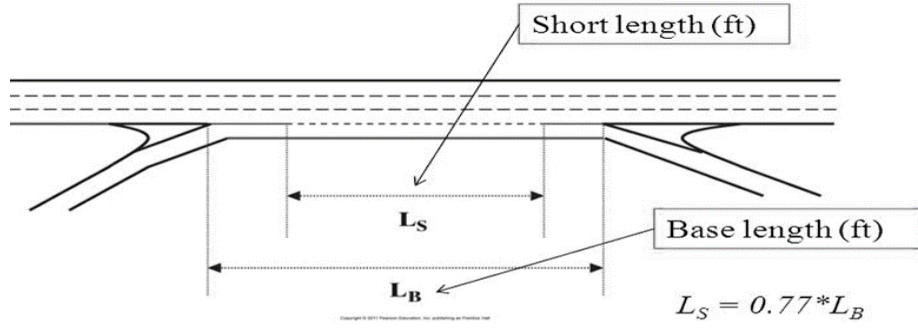
$LC_{MIN} = (LC_{RR} \times v_{RR})$ الحد الأدنى لعدد تغيير الممرات المطلوبة لإكمال حركة غير التماوج للمركبات

$$v_W = v_{RR} \quad \boxed{\text{إجمالي التدفق ضمن منطقة التماوج بوحدات مركبة صغيرة/ساعة}}$$

$$v_{NW} = v_{FR} + v_{RF} + v_{FF} \quad \boxed{\text{إجمالي التدفق غير التماوج ضمن منطقة التماوج بوحدات مركبة صغيرة/ساعة}}$$

الخطوة الرابعة: حساب الحد الأقصى لطول **Step-4: Maximum Weaving Length**

$$L_{MAX} = [5728(1 + VR)^{1.6}] - 1.566N_{vw}$$



الخطوة الخامسة: حساب السعة الإستيعابية لمنطقة التماوج **Step-5: Capacity of the Weaving Segment**

Calculate C_{IWL} (capacity per lane of weaving section under ideal conditions):

حساب السعة الإستيعابية لكل ممر في منطقة التماوج تحت تأثير الظروف المثالية

$$C_{IWL} = C_{IFL} - [438.2(1 + VR)^{1.6}] + [0.0765L_S] + [119.8 N_{WV}]$$

Convert C_{IWL} to total capacity for the weaving segment under prevailing conditions:

تحويل السعة الإستيعابية في منطقة التماوج تحت تأثير الظروف السائدة

$$C_{W1} = C_{IWL} \times N \times f_{HV} \times f_p$$

قيم السعة الإستيعابية **Capacity Values – C_{IFL}**

- **Based on Breakdown Density** حساب السعة الإستيعابية لمنطقة التماوج إعتقاداً على الكثافة المسببة للفشل التشغيلي المروري

Calculate C_{IWL} (capacity per lane of weaving section under ideal conditions):

$$C_{IWL} = C_{IFL} - [438.2(1 + VR)^{1.6}] + [0.0765L_S] + [119.8N_{WV}]$$

Convert C_{IWL} to total capacity for the weaving segment under prevailing conditions:

تحويل السعة الإستيعابية الى السعة الكلية لمنطقة التماوج تحت تأثير الظروف السائدة

$$C_{W1} = C_{IWL} N f_{HV} f_p$$

Table 1. Capacity Values. قيم السعة الإستيعابية كما موضح في الجدول رقم ١

Freeways		Multilane Highways and C-D Roadways	
FFS (mi/h)	Capacity (pc/h/ln)	FFS (mi/h)	Capacity (pc/h/ln)
≥ 70	2,400	≥ 60	2,200
65	2,350	55	2,100
60	2,300	50	2,000
55	2,250	45	1,900

- **Based on Maximum Weaving Flow Rate** حساب السعة الإستيعابية لمنطقة التماوج إعتقاداً على الحد الأقصى لمعدل التدفق المروري للتماوج

Calculate C_{IW} (based on number of weaving lanes): حساب السعة إعتقاداً على عدد ممرات التماوج

$$C_{IW} = 2400/VR \text{ for } N_{WL} = 2 \text{ lanes}$$

$$C_{IW} = 3500/VR \text{ for } N_{WL} = 3 \text{ lanes}$$

Convert C_{IW} to total capacity for the weaving segment under prevailing conditions:

$$C_{W2} = C_{IWL} * f_{HV} * f_p \quad \text{تحويل السعة الإستيعابية الى السعة الكلية لمنطقة التماوج تحت تأثير الظروف السائدة}$$

- **Final Capacity and v/C ratio**

$$C_W = \text{MIN}(C_{W1}, C_{W2})$$

$$v/c = \frac{v f_{HV} f_p}{c_W}$$

If $v/c > 1.0$ LOS = F, and STOP

Step-6: Total Lane Changing الخطوة السادسة: العدد الإجمالي لتغير الممرات

- **For Weaving Vehicles**

Total lane changing rate for weaving vehicles العدد الإجمالي لتغير الممرات لمركبات التماوج

$$LC_W = LC_{MIN} + 0.39[(LS - 300)^{0.5} N^2 (1 + ID)^{0.8}]$$

- **For Non-Weaving Vehicles**

$$LC_{NW1} = 0.206v_{NW} + 0.542L_s - (192.6N)$$

$$LC_{NW2} = 0.2135 + 0.223(v_{NW} - 2000)$$

يتم إختيار إحدى المعادلتين حسب مؤشر تغيير المسار وكما موضح ادناه:

- **Lane Changing Index** مؤشر تغيير المسار

Total lane changing rate for weaving vehicles العدد الإجمالي لتغير الممرات لمركبات التماوج

- **For Non-Weaving Vehicles**

$$I_{NW} = \frac{I_s ID v_{NW}}{10000}$$

If $I_{NW} \leq 1300$ $LC_{NW} = LC_{NW1}$

If $I_{NW} > 1950$ $LC_{NW} = LC_{NW2}$

If $1300 < I_{NW} > 1950$ $LC_{NW} = LC_{NW2}$

$$LC_{NW} = LC_{NW1} + (LC_{NW2} - LC_{NW1}) \left(\frac{I_{NW} - 1300}{650} \right)$$

- **Total Lane Changing** إجمالي معدل تغيير الممرات في منطقة التماوج

$$LC_{ALL} = LC_W + LC_{NW}$$

Step-7: Average Speed الخطوة السابعة: حساب معدل السرعة

- **Weaving Vehicles** مركبات التماوج

$$S_W = S_{MIN} + \left(\frac{S_{MAX} + S_{MIN}}{1 + W} \right)$$

$$W = 0.226 \left(\frac{LC_{ALL}}{L_S} \right)^{0.789} \quad \text{معامل شدة التماوج}$$

- **Non-Weaving Vehicles** مركبات غير التماوج

$$S_{NW} = FFS - (0.0072 LC_{MIN}) + (0.0048 \frac{V}{N})$$

- **Average Speed**

$$S = \frac{V_W + V_{NW}}{\left(\frac{V_W}{S_W} \right) + \left(\frac{V_{NW}}{S_{NW}} \right)}$$

Step-8: Determine Density الخطوة الثامنة: حساب الكثافة

$$D = \frac{\left(\frac{V}{N} \right)}{S}$$

D: is the density for all vehicles in the weaving segment ($pc/mile/ln$)

الكثافة لكل المركبات في منطقة التماوج بوحدات مركبة صغيرة/ميل/ممر

LOS for W/M/D Segments مستوى الخدمة لمنطقة التماوج والاندماج والابتعاد يتم تحديده حسب قيم الكثافة وكما موضح في الجدول رقم 2

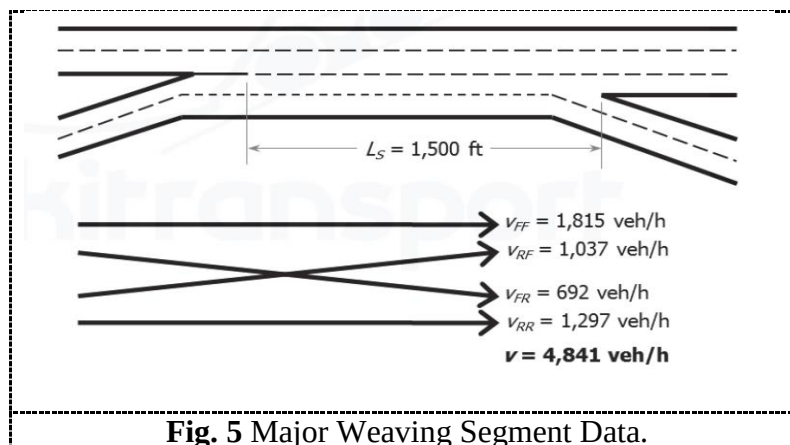
Table 2. Level of Service (LOS).

Level of Service	Weaving Areas		Merge or Diverge Areas
	Density Range (pc/mi/ln)		
	On Freeways	On Multilane Highways or C-D Roadways	On Freeways, Multilane Highways, or C-D Roadways
A	0–10	0–12	0–10
B	>10–20	>12–24	>10–20
C	>20–28	>24–32	>20–28
D	>28–35	>32–36	>28–35
E	>35	>36	>35
F	Demand Exceeds Capacity		

EXAMPLE PROBLEM 1:

LOS OF A MAJOR WEAVING SEGMENT the Weaving Segment

The subject of this operational analysis is a major weaving segment on an urban freeway under no severe weather conditions and without incidents, as shown in Fig. 3. The short length of the weaving segment L_S is 1,500 ft. What is the level of service (LOS) and capacity of the weaving segment shown in Fig. 5?



Solution:

In addition to the information contained in Fig.5, the following characteristics of the weaving segment are known:

PHF = 0.91 (for all movements);

Heavy vehicles = 5% trucks;

Driver population = regular commuters;

Free-flow speed (FFS) = 65 mi/h; ramp FFS = 50 mi/h;
 $c_{IFL} = 2,350$ pc/h/ln (for FFS = 65 mi/h);
 ID = 0.8 interchange/mi; and
 Terrain = level.

Note that the ideal freeway capacity per lane c_{IFL} is the capacity of a basic freeway segment, where the FFS is 65 mi/h. It is drawn from the methodology of Basic Freeway and Multilane Highway Segments.

The heavy-vehicle adjustment factor is computed as:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)} = \frac{1}{1 + 0.05(2 - 1)} = 0.952$$

Then convert all demand volumes:

$$v_i = \frac{V_i}{PHF \times f_{HV}}$$

$$v_{FF} = \frac{1815}{0.91 \times 0.952} = 2094 \text{ pc/hr}$$

$$v_{FR} = \frac{692}{0.91 \times 0.952} = 798 \text{ pc/hr}$$

$$v_{FR} = \frac{1037}{0.91 \times 0.952} = 1197 \text{ pc/hr}$$

$$v_{FR} = \frac{1297}{0.91 \times 0.952} = 1497 \text{ pc/hr}$$

$$v_w = 798 + 1197 = 1995 \text{ pc/hr}$$

$$v_{NW} = 2094 + 1497 = 3591 \text{ pc/hr}$$

$$v = 1995 + 3591 = 5586 \text{ pc/hr}$$

$$VR = \frac{1995}{4486} = 0.357$$

The configuration is examined to determine the values of LC_{RF} , LC_{FR} , and N_{WL} . These determinations are illustrated in Fig. 6. From these values, the minimum number of lane changes by weaving vehicles, LC_{MIN} , is then computed:

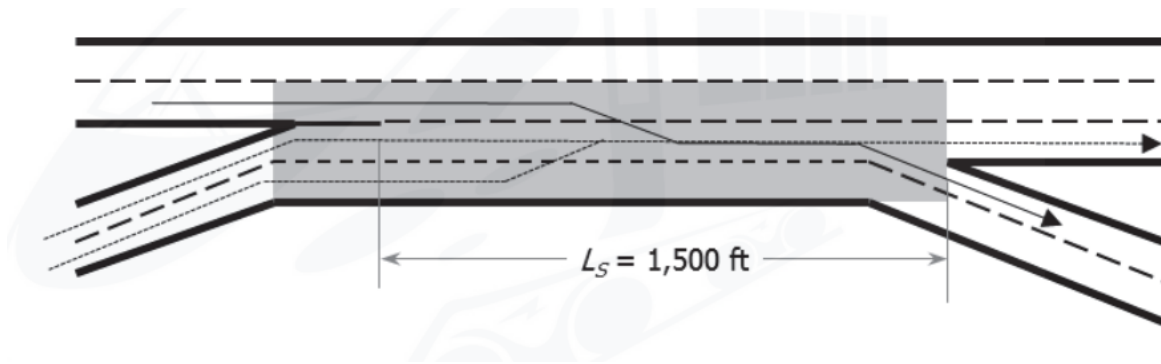


Fig. 6. Example Problem 1: Determination of Configuration Variables.

Thus, $LC_{RF} = 0$. Freeway-to-ramp vehicles must make at least one lane change to complete their desired maneuver. Thus, $LC_{FR} = 1$. If optional lane changes are considered, weaving movements can be accomplished with one or no lane changes from both entering ramp lanes and from the rightmost freeway lane. Thus, $N_{WL} = 3$.

$$LC_{MIN} = (LC_{RF} \times v_{RF}) + (LC_{FR} \times v_{FR})$$

$$LC_{MIN} = (0 \times 1197) + (1 \times 798) = 798 \text{ lc/hr}$$

The maximum length over which weaving movements may exist is determined:

$$L_{MAX} = [5728(1 + VR)^{1.6} - (1566N_{WL})]$$

$$L_{MAX} = [5728(1 + 0.357)^{1.6} - (1566 \times 3)] = 4639 \text{ ft}$$

- **Capacity Controlled by Density**

$$c_{IWL} = c_{IFL} - [438.2(1 + VR)^{1.6}] + (0.0765L_S) + (119.8N_{WL})$$

$$c_{IWL} = 2350 - [438.2(1 + 0.375)^{1.6}] + (0.0765 \times 1500) + (119.8 \times 3) = 2110 \text{ pc/hr/ln}$$

$$c_W = c_{IWL} \times N \times f_{HV} = 2110 \times 4 \times 0.952 = 8038 \text{ veh/hr}$$

- **Capacity Controlled by Maximum Weaving Flow Rate**

$$c_{IW} = \frac{3500}{VR} = \frac{3500}{0.357} = 9800 \text{ pc/hr}$$

$$c_W = 9800 \times 0.952 \times 1 = 9333 \text{ veh/hr}$$

Note that the methodology computes the capacity controlled by density in passenger cars per hour per lane, while the capacity controlled by maximum weaving flow rate is computed in passenger cars per hour. After conversion, however, both are in units of vehicles per hour.

The controlling value is the smaller of the two or 8,038 veh/h. Since the total demand flow rate is only 5,320 veh/h, the capacity is clearly sufficient, and this situation will not result in LOS F.

Estimate the lane-changing rates of weaving and non-weaving vehicles in the weaving segment. In turn, these will be used to estimate weaving and non-weaving vehicle speeds.

Weaving Vehicle Lane-Changing Rate:

$$LC_w = LC_{MIN} + 0.39[(L_s - 300)^{0.5} N^2 (1 + ID)^{0.8}]$$

$$LC_w = 798 + 0.39[(1500 - 300)^{0.5} 4^2 (1 + 0.8)^{0.8}] = 1144 \text{ lc/hr}$$

Nonweaving Vehicle Lane-Changing Rate:

$$I_{NW} = \frac{L_s \times ID \times v_{NW}}{10000}$$

$$I_{NW} = \frac{1500 \times 0.8 \times 3591}{10000} = 431 < 1300$$

$$LC_{NW} = LC_{NW1} = (0.206 v_{NW}) + (0.542 L_s) - (192.6 N)$$

$$LC_{NW} = LC_{NW1} = (0.206 \times 3592) + (0.542 \times 1500) - (192.6 \times 4) = 782 \text{ lc/hr}$$

Total Lane-Changing Rate:

$$LC_{ALL} = LC_w + LC_{NW} = 1144 + 782 = 1926 \text{ lc/hr}$$

The average speeds of weaving and nonweaving vehicles are computed:

$$W = 0.226 \left(\frac{LC_{ALL}}{L_s} \right)^{0.789}$$

$$W = 0.226 \left(\frac{1926}{1500} \right)^{0.789} = 0.275$$

Then:

$$S_w = 15 + \left(\frac{FFS \times SAF - 15}{1 + W} \right)$$

$$S_w = 15 + \left(\frac{65 \times 1 - 15}{1 + 0.274} \right) = 54.2 \text{ mile/hr}$$

And,

$$S_{NW} = FFS \times SAF - (0.0072LC_{MIN}) - (0.0048 \frac{v}{N})$$

$$S_{NW} = 65 \times 1 - (0.0072 \times 789) - \left(0.0048 \frac{5586}{4}\right) = 52.5 \text{ mile/hr}$$

Compute the average speed of all vehicles in the segment:

$$\begin{aligned} S &= \frac{v_W + v_{NW}}{\left(\frac{v_W}{S_W}\right) + \left(\frac{v_{NW}}{S_{NW}}\right)} \\ &= \frac{3591 + 1995}{\left(\frac{3591}{52.5}\right) + \left(\frac{1995}{54.2}\right)} \\ &= 53.1 \text{ mile/hr} \end{aligned}$$

Estimate average density:

$$\begin{aligned} D &= \frac{\left(\frac{v}{N}\right)}{S} \\ &= \frac{\left(\frac{5586}{4}\right)}{53.1} \\ &= 26.3 \text{ pc/hr/mile} \end{aligned}$$

The resulting density of 26.3 pc/mi/ln is compared with the LOS criteria of Table 2.

The LOS is C, since the density is within the specified range of 20 to 28 pc/h/ln for that level.